



# SÄTEILY- JA YDINTURVALLISUUS

Neljännesvuosiraportti 3/2006

Erja Kainulainen (toim.)

# SÄTEILY- JA YDINTURVALLISUUS

Neljännesvuosiraportti 3/2006

Erja Kainulainen (toim.)

ISBN 952-478-191-3 (nid.) Dark Oy, Vantaa 2006  
ISBN 952-478-192-1 (pdf)  
ISBN 952-478-193-X (html)  
ISSN 0781-2884

*KAINULAINEN Erja (toim.). Säteily- ja ydinturvallisuus. Neljännesvuosiraportti 3/2006. STUK-B-YTO 251. Helsinki 2006. 31 s. + liitteet 3 s.*

**Avainsanat:** painevesireaktori, kiehutusvesireaktori, ydinvoimalaitosten käyttökokemukset, ydinjätehuolto, ydinmateriaalit, valmiustoiminta, lähialueyhteistyö, säteilyn käyttö, ympäristön säteilyvalvonta

## Tiivistelmä

Raportissa esitetään tietoja STUKin toimialalla yleistä mielenkiintoa herättäneistä säteily- ja ydinturvallisuuden tapahtumista vuoden 2006 kolmannelta neljännekseltä. Raportissa kerrotaan Suomen ja sen lähialueiden ydinlaitosten käytöstä sekä turvallisuuteen vaikuttaneista tapahtumista ja Suomen uuden ydinvoimalaitoshankkeen etene- misestä ja hankkeeseen kohdistuneista STUKin valvontatoimista. Lisäksi raportoidaan ydinjätehuollon ja ydinmateriaalivalvonnan tapahtumista. Teollisuuden ja terveyden- huollon säteilyn käytön sekä ionisoimattoman säteilyn käytön osalta esitetään STUKin valvontatoiminnan tapahtumia ja kerrotaan poikkeavista tapahtumista säteilyn käytössä. Raporttiin on koottu yhteenvedot STUKissa tehtävän ympäristön säteilyvalvonnan tulok- sista, valmiustoiminnan tapahtumista ja STUKissa valmistuneista tutkimuksista kolman- nelta vuosineljännekseltä.

Loviisa 1 ja 2 olivat vuosihuollossa vuosineljänneksen aikana. Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 olivat tuotantokäytössä koko vuosineljänneksen. Loviisa 2:n vuosihuollossa tapahtunut kontaminaation leviäminen luokiteltiin INES-asteikolla luokkaan 1, koska siinä ilmeni puutteita menettelytavoissa valvonta-alueen radioaktiivisuuden kulkeutumisen rajoit- tamisessa. Muilla vuosineljänneksen aikana sattuneilla tapahtumilla ei ollut merkitystä ydin- eikä säteilyturvallisuuden kannalta.

STUKin tutkintaraportti turvallisuusvaatimusten hallinnasta Olkiluoto 3:n rakentami- sessa valmistui heinäkuussa. Voimayhtiö toimitti vastineen tutkintaraportissa esitettyihin suosituksiin syyskuun puolivälissä.

Posiva Oy jatkoi loppusijoituslaitoksen maanalaisten tutkimustilojen rakentamista Olkiluodossa. STUK valvoo mm. tutkimustilan kalliorakentamisen laatua, seuraa loppusi- joituksen kannalta suotuisten ominaisuuksien säilymistä ja tarkastaa tiloja myös ydinsul- kuvalvonnan näkökulmasta.

Vuosineljänneksellä STUKin tietoon tuli yksi poikkeava tapahtuma ionisoivan sätei- lyn käytössä teollisuudessa ja yksi tapahtuma radioaktiivisten aineiden kuljetuksissa. Tapahtumat eivät johtaneet vakaviin seurauksiin.

Vuoden 2006 kolmannella neljänneksellä ei ollut yhtään tilannetta, jossa olisi ollut aiheutta ryhtyä erityistoimiin väestön tai ympäristön suojelemiseksi.

Leningradin ja Kuolan ydinvoimalaitosten tapahtumista mikään ei vaarantanut laitosityk- siköiden turvallisuutta.

Ruotsissa Forsmark 1:llä ulkoisen 400 kV:n verkkoyhteyden kytkentämuutoksia tehtäessä tapahtui häiriö, joka johti osittaiseen sähkönmenetykseen yksikön sisäisissä, turvallisuuden kannalta tärkeissä sähköjärjestelmissä. Laitosyksikön turvallisuusjärjestelmät toimivat suunnitellusti ja sammuttivat reaktorin. Tapahtumasta ei aiheutunut radioaktiivisia päästöjä. Tapahtuma on luokiteltu kansainvälisellä ydinvoimalaitostapahtumien INES-vakavuusasteikolla luokkaan 2.

# Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	7
2 SUOMEN YDINVOIMALAITOKSET	8
2.1 Loviisa 1 ja 2	8
2.1.1 Käyttö ja käyttötapahtumat	8
2.1.2 Turvallisuutta parantavat laitosmuutokset	12
2.2 Olkiluoto 1 ja 2	12
2.2.1 Käyttö ja käyttötapahtumat	12
2.3 Olkiluoto 3	14
3 YDINJÄTEHUOLTO	16
4 YDINMATERIAALIVALVONTA	17
5 SÄTEILYN KÄYTTÖ	18
5.1 Ionisoiva säteily	18
5.2 Ionisoimaton säteily	19
6 VALTAKUNNALLINEN YMPÄRISTÖN SÄTEILYVALVONTA	20
6.1 Ulkoinen säteily	20
6.2 Ilman radioaktiivisuus	21
6.3 Poikkeavat säteilyhavainnot	21
7 STUKIN VALMIUSTOIMINTA	22
7.1 Yhteydenotot STUKin päivystäjään	22
7.2 Poikkeavat tapahtumat ulkomailla	22
8 TUTKIMUS	24
8.1 Valmistuneet hankkeet	24
8.2 Ilmestyneet artikkelit ja raportit	28
9 LÄHIALUEEN YDINVOIMALAITOKSET	29
10 MERKITTÄVIÄ TAPAHTUMIA MUILLA YDINVOIMALAITOKSILLA	30
LIITE 1 YLEISTIEDOT SUOMEN YDINVOIMALAITOKSISTA	32
LIITE 2 VALTAKUNNALLINEN YMPÄRISTÖN SÄTEILYVALVONTA STUKISSA	33
LIITE 3 INES-ASTEIKKO	34



# 1 Johdanto

Säteilyturvakeskus (STUK) on turvallisuusviranomaisen, joka valvoo säteilytoiminnan ja ydinenergian käytön turvallisuutta. STUK huolehtii myös turva- ja valmiusjärjestelyjen valvonnasta sekä ydinaseiden leviämisen estämiseksi tarpeellisesta ydinenergian käytön valvonnasta. Turvallisuusvalvonnan ja valmiustoiminnan tueksi sekä säteilyn terveyshaittoja ja luonnonsäteilyä koskevan uuden tiedon tuottamiseksi STUK harjoittaa alansa tutkimustoimintaa. STUK tuottaa lisäksi alansa mittaus- ja asiantuntijapalveluja. STUKin toiminta-ajatuksena on ihmisten, yhteiskunnan, ympäristön ja tulevien sukupolvien suojeleminen säteilyn haitallisilta vaikutuksilta.

STUK julkaisee neljännesvuosittain raportin, jossa kuvataan Suomen ja sen lähialueiden ydinlaitosten tapahtumia. Lisäksi raportissa esitetään Suomen ydinjätehuoltoa ja ydinmateriaalivalvontaa koskevia asioita ja kerrotaan ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn käyttöön liittyvistä tapahtumista ja STUKin valvontatoimista. Raportti sisältää yhteenvedot STUKin valmiustoiminnasta, valtakunnallisen ympäristön säteilyvalvonnan tuloksista ja vuosineljänneksellä valmistuneista STUKin tutkimushankkeista.

Raportti perustuu STUKin valvontatoimintaansa, valmiustehtävässään sekä lähialueyhteistyön koordinoinnissa saamiin tietoihin ja tekemiin havaintoihin.



## 2 Suomen ydinvoimalaitokset

*Tapani Eurasto, Tomi Koskiniemi, Jukka Kupila, Esa Lehtonen, Veli Riihiluoma, Suvi Ristonmaa, Petteri Tiippa, Kirsti Tossavainen, Keijo Valtonen*

### 2.1 Loviisa 1 ja 2

#### 2.1.1 Käyttö ja käyttötapahummat

Loviisan kummankin laitosyksikön vuosihuoltoseisokit olivat kolmannella vuosineljänneksellä. Loviisa 1:n energiakäyttökerroin vuosineljänneksellä oli 69,0 % ja Loviisa 2:n 52,8 %. Energiakäyttökerroin kuvaa tuotetun sähköenergian suhdetta energiaan, joka olisi voitu tuottaa, jos laitosyksikkö olisi toiminut koko tarkasteluajan nimellisteholla. Sähköntuotantoa kuvaavat diagrammit ja tehonalennusten syyt esitetään kuvissa 1 ja 2.

#### Loviisa 1:n vuosihuolto

Loviisa 1:n vuosihuolto oli lyhyt polttoaineenvaihtoseisokki. Laitosyksikkö ajettiin alas vuosihuoltoon 29.7.2006 ja kytkettiin takaisin valtakunnan verkkoon 24.8.2006 noin viisi vuorokautta suunniteltua myöhemmin.

Polttoaineen vaihdon lisäksi vuosihuollossa tehtiin normaaleja huolto- ja tarkastustöitä, kuten mm. primäärikiertopiirin putkistojen tarkastuksia, reaktorin hätäsyöttövesiyhteiden tarkastus, höyrystymien lämmönsiirtoputkien pyörrevirtatarkastuksia ja viallisten putkien tulppauksia sekä pääkiertopumppujen huoltoja. Sekundääripiirin puolella tehtiin mm. merivesipumpun huoltoja ja turpiinin ja generaattorin tarkastukset.

Vuosihuollon aikana mitattiin reaktoripaineastian suojaputkiyksikön jousien jousivoima ja porattiin betoninäyte reaktorikuopan sisälieriöstä.

Vuosihuollossa tehtiin muutostöinä pääkiertopumpun tiivistevesilämmönvaihtimen siirto ja uudelleen käämityn moottorin asennus, yhden hätäjäähdytysjärjestelmän eristysventtiilin vaihto sekä höyrystimen syöttövesilinjojen takaiskuventtiilien modernisointi. Turvallisuutta lisäävänä muutostyönä puhdistettiin ja kahdennettiin yhden höy-

rystimen ulospuhallusjärjestelmän putki.

Seisokin piteneminen johtui lähinnä reaktoripainesäiliön yläreunan laipan tiivisteurasta löytyneiden säröjen korjaamisesta, primääripiirin ilmausvaikeuksista ylösajon aikana ja kahden venttiilin – ensin paineistimen ruiskutuslinjan venttiilin ja sitten höyrynerotusventtiilin (Rockwell) – vikojen korjaamisesta. Molempien venttiilien korjaamista varten laitosyksikkö jouduttiin jäähdyttämään kuumaseisokkitilasta takaisin kylmäseisokkiin.

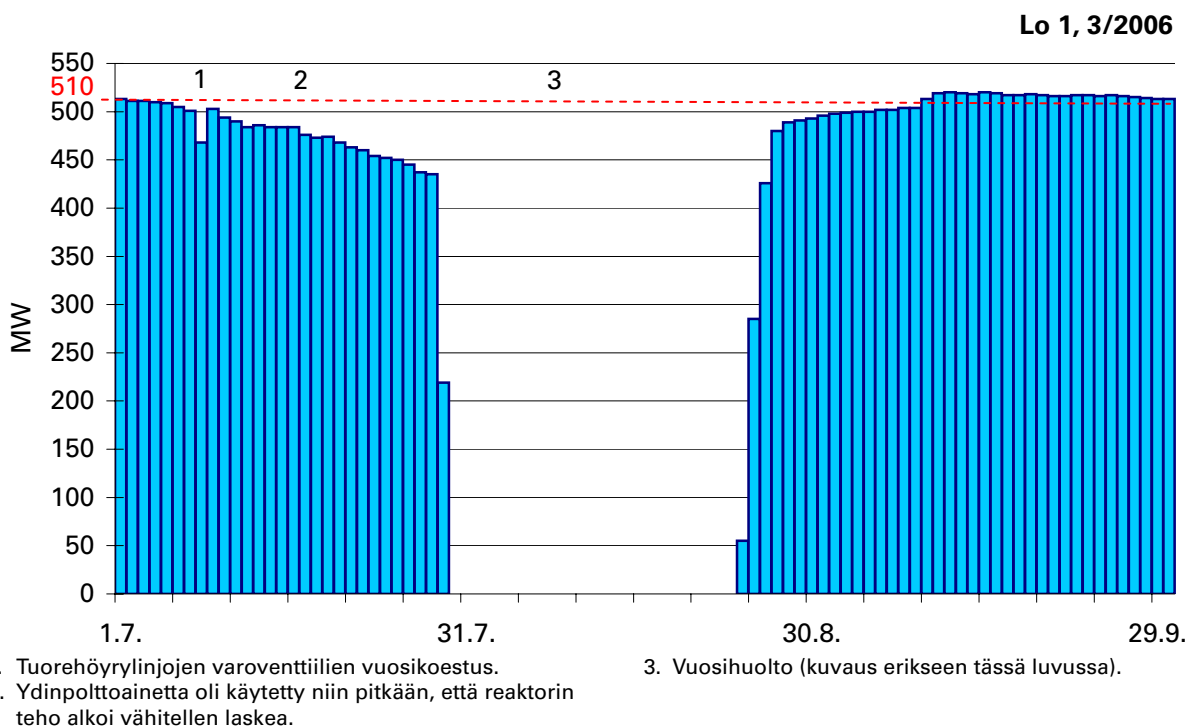
Seisokin aikaisista töistä aiheutunut kollektiivinen säteilyannos oli 0,65 manSv. STUKin ohjeen mukaan kollektiivisen säteilyannoksen raja-arvo Loviisan yhdelle laitosyksikölle on kahden peräkkäisen vuoden keskiarvona 1,22 manSv. Vuosittainen kollektiivinen säteilyannos kertyy pääasiassa seisokeissa tehtyjen töiden aikana. Suurin yksittäisen henkilön saama säteilyannos Loviisa 1:n vuosihuollossa oli 9,1 mSv. Säteilyasetuksen mukaan säteilytyöstä työntekijälle vuoden aikana aiheutuva efektiivinen annos ei saa olla suurempi kuin 50 mSv. Säteilyannos ei saa myöskään ylittää 100 mSv annosrajaa minäkään viiden vuoden ajanjakson aikana. Syyskuun loppuun mennessä kertynyt suurin suomalaisen ydinvoimalaitostyöntekijän saama viisivuotissanos (2002–2006) oli 70,4 mSv. Annos on kertynyt työskentelystä Olkiluodon, Loviisan ja Ruotsin ydinvoimalaitoksilla. Kuvassa 3 esitetään vuosihuolloissa kertyneet kollektiiviset säteilyannokset vuosilta 2002–2006.

#### Loviisa 2:n vuosihuolto

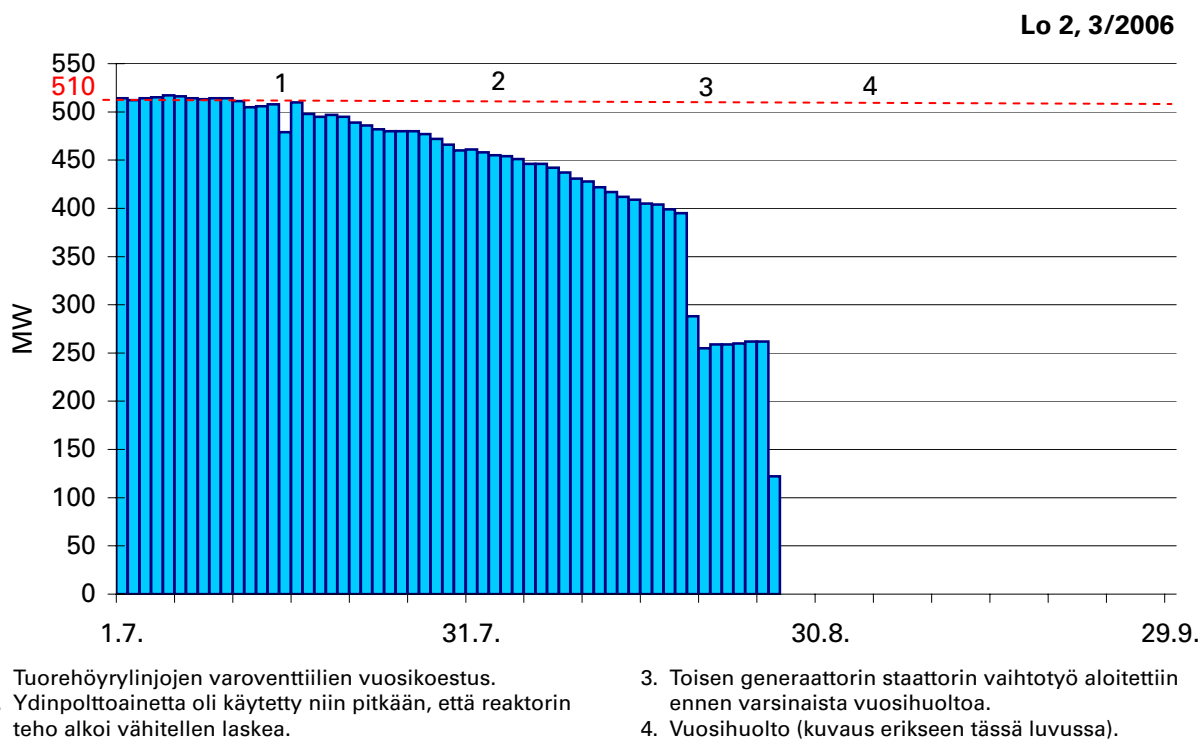
Loviisa 2:n vuosihuolto alkoi 26.8.2006. Vuosihuoltoon liittyen toinen Loviisa 2:n turpiinigeneraattoreista ajettiin alas jo ennakoon 19.8.2006, jotta suunniteltu generaattorin staattorin vaihto saataisiin valmiiksi laitosyksikön ylösajoon mennessä. Vuosihuolto päättyi 1.10.2006, noin kolme

vuorokautta suunniteltua myöhemmin. Seisokin piteneminen johtui odottamattomina lisätöinä tul-  
leista reaktoripaineastian laippatason korjaustöis-  
tä sekä seisokin lopussa tapahtuneesta generaattorikat-  
kaisijan ja päämuuntajan välisten kolmen  
kiskojännitemuuntajan vaurioitumisesta.

Vuosihuolto oli neljän vuoden välein tehtävä  
pitkä vuosihuolto, jossa tehdään normaalien tar-  
kastusten ja huoltojen lisäksi laajoja tarkastuksia  
reaktoripaineastialle, paineastian sisäosille, vent-  
tiileille ja putkistoille, kuten mm. reaktorin sisä-  
puolinen ja sisäosien TV-tarkastus ja paineastian



**Kuva 1.** Loviisa 1:n keskimääräinen vuorokautinen bruttosähköteho heinä-syyskuussa 2006.



**Kuva 2.** Loviisa 2:n keskimääräinen vuorokautinen bruttosähköteho heinä-syyskuussa 2006.

ulkopuolinen ultraäänitarkastus. Tarkastuksien vuoksi reaktorista poistettiin kaikki polttoaine seisokissa.

Laajassa vuosihuollossa tehtiin paljon korjauksia ja tarkastuksia, kuten tukikorin verholevyn viallisten ruuvien tarkastus ja vaihto, reaktorikannen säätösauvojen läpivientiholkkien vaihto, suojaputkikyksikön jousien jousivoiman mittausta ja reaktorikuopan sisälieriön betoninäytteen poraus.

Turvallisuutta lisäävinä muutostöinä vuosihuollossa uusittiin korkeapaineisen hätäjähdytysjärjestelmän kaksi pumppua (ks. jäljempänä tässä luvussa) sekä puhdistettiin ja kahdennettiin yhden höyrystimen ulospuhallusjärjestelmän putki.

Vuosihuollossa yritettiin paikallistaa viime vuoden tapaan vuonna 2004 havaittua, erittäin pientä primääri-sekundäärivuotoa (höyrystimen tuubivuotoa) paremmalla tekniikalla, mutta pitkällisistä yrityksistä huolimatta sitä ei löytynyt. Tilannetta seurataan sekundääripiirin ilma- ja vesipäästöjen aktiivisuusmittausten ja laboratorioanalyysien avulla.

Voimayhtiön tekemissä tarkastuksissa tuli esiin ikääntymisen aiheuttama vaurio 6 kV:n sähkökeskuksissa. Virtakiskojen liitoskohdista löydettiin murtumia, jotka korjattiin (kuvaus jäljempänä tässä luvussa). Loviisa 1:llä ei vastaavia murtumia löydetty.

Loviisa 2:lla löytyi reaktoripainesäiliön laippatason tiivisteurasta särö vuonna 2005 (ks. neljännesvuosiraportti 3/2005). Tänä vuonna säröjä havaittiin molemmilla laitossyksiköillä. Loviisa 2:lla otettiin korjausten yhteydessä koepala, jonka avulla asiaa voidaan tutkia paremmin.

Turpiinigeneraattorin jännitemuuntajien vau-

riossa tuhoutui kolme jännitemuuntajaa oikosulun seurauksena. Vaurion selvitys ja korjaus estivät turbiinigeneraattorin käynnistämisen alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Toinen turbiinigeneraattori kytkettiin 1.10.2006 valtakunnan verkkoon, kun generaattorin staattorin vaihdon lopputyöt saatiin päätökseen. Vaurioituneet kiskojännitemuuntajat korjattiin ja turpiinigeneraattori tahdistettiin verkkoon 3.10.2006.

Ylösajon jälkeen 2.10.2006 havaittiin, että tehokäytöllä generaattorin uusitusta staattorista lähtevän sähköläpiviennin lämpötila oli noussut huomattavasti normaalia korkeammaksi. Turbiinin tehoa alennettiin, jolloin lämpötila saatiin normaalille tasolle. Kun toinen turpiinigeneraattori saatiin 3.10.2006 tahdistettua verkkoon, voitiin generaattori ajaa alas sähköläpiviennin korjausta varten. Generaattori tahdistettiin uudelleen verkkoon muutaman tunnin päästä.

Vuosihuollon aikana havaittiin 22.9.2006 Loviisa 2:lla kontaminaation (radioaktiivinen lika) leviäminen. Tapahtumasta on selvitys jäljempänä tässä luvussa.

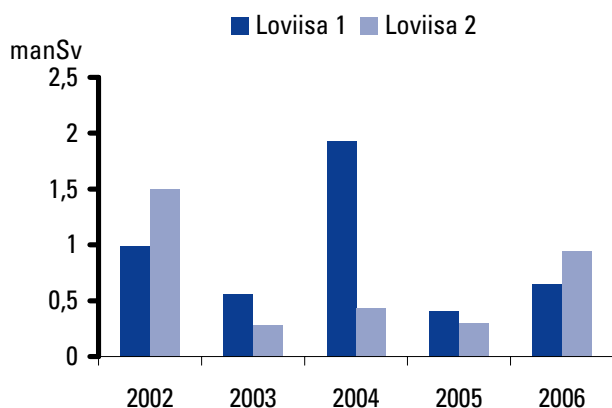
Vuosihuoltoseisokin aikaisista töistä aiheutui 0,94 manSv kollektiivinen säteilyannos. Suurin yksittäisen henkilön saama säteilyannos Loviisa 2:n vuosihuoltoseisokissa oli 13,6 mSv. Se oli myös suurin molempien laitossyksiköiden seisokkien aikana saatu säteilyannos. Kuvassa 3 esitetään vuosihuolloissa kertyneet säteilyannokset vuosilta 2002–2006.

### Sähkökeskusten virtakiskojen vauriot Loviisa 2:lla

Loviisa 2:lla havaittiin 13.9.2006 vuosihuolloissa neljän vuoden välein tehtävissä määräaikaistarkastuksissa 6 kV:n kytkinlaitosten virtakiskoissa murtumia. Murtumat sijaitsivat haara- ja kokoojakiskojen välisissä ruuviliitoksissa. Kytkinlaitoksen haarakiskojen välityksellä syötetään kokoojakiskoilta sähkötehoa mm. 6 kV:n moottoreille ja jakelumuntajille. Kyseiset murtumat olisivat saattaneet johtaa kojeistovaurioihin.

Havainnon jälkeen laitossyksikön kaikkien 6 kV:n dieselvarmennettujen ja normaalien kytkinlaitosten haarakiskot tarkastettiin. Murtuneita haarakiskoja löytyi noin 20 prosenttia. Tarkastusten jälkeen kaikki murtuneet kiskot uusittiin.

Loviisa 1:n vastaavien 6 kV:n kytkinlaitosten kiskojen rakenne poikkeaa Loviisa 2:n kiskojen



**Kuva 3.** Loviisan laitossyksiköiden vuosihuolloissa kertyneet kollektiiviset säteilyannokset.

rakenteesta, mistä syystä samanlainen vikaantumisen ei voimayhtiön mukaan ole mahdollinen Loviisa 1:llä.

Voimayhtiö toimittaa tapahtumasta STUKille erikoisraportin.

### **Kontaminaation leviäminen Loviisa 2:lla**

Loviisa 2:lla säteilymittarit hälyttivät perjantaina 22.9.2006 työntekijöiden suojavarusteiden mittauksissa poikkeuksellisen usean kohdalla ja likaantuneita varusteita jouduttiin vaihtamaan puhtaisiin. Radioaktiivista likaa oli etenkin kenkäsuojuissa, mistä voitiin päätellä, että sitä täytyi olla valvonta-alueen kulkureiteillä.

Voimayhtiön tekemässä selvityksessä ilmeni, että torstai-iltana 21.9.2006 Loviisa 2:n reaktorirakennuksesta oli siirretty materiaalisulun kautta reaktorialtaan puhdistukseen käytettyjä reaktorimurin letkuja ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevaan dekontaminointikeskukseen. Torstain iltavuorossa putket puhdistettiin ulkopinnoiltaan ja siirrettiin muovittamattomina kuljetuskäytävän puolelle. Putket siirrettiin kuljetuskäytävää 22.9.2006 aamuvuoron aikana valvonta-alueella viidennessä kerroksessa sijaitsevaan käytävään odottamaan siirtoa varastotilaan. Tämän siirron yhteydessä radioaktiivista likaa oli irronnut reaktori-imurin letkujen sisältä lattialle. Kontaminaation tultua ilmi voimailaitoksella käynnistettiin valvonta-alueen siivous ja likaantuneet lattiat puhdistettiin.

Kontaminaatiota havaittiin laitosalueen sisällä myös piha-alueella kuljetuskäytävän oven välitörmässä läheisyydessä, jonne lika oli mitä ilmeisimmin levinnyt tavaroiden siirtoihin käytetyn kuljetusajoneuvon pyörissä. Laitoksen piha-alue kuljetuskäytävän oven lähellä puhdistettiin. Piha-alueelle levinneen radioaktiivisen lian kokonaisaktiivisuus oli hyvin vähäinen. Puhdistustyöt ulottuivat myös joihinkin Loviisa 1:n tiloihin.

Tapahtuma ei vaarantanut työntekijöiden säteilyturvallisuutta, koska kontaminaatio havaittiin ja siivous toteutettiin tehokkaasti. Laitosalueen ulkopuolelle radioaktiivisia aineita ei levinnyt. Voimayhtiö on laatinut tapahtumasta erikoisraportin, jossa esitetään olennaiset menettelyjen ja toimintaohjeiden muutokset.

Koska kyseessä oli selkeä puute valvonta-alueen toimintarutiineissa, tapahtuma luokitellaan INES-luokkaan 1.

### **Hätävesiakun purkauskokeen tekemättä jättäminen**

Loviisan 2:lla on neljä hätäsisävesiakkua, joiden vedellä jäähdytetään reaktorisydäntä mahdollisen putkikatkon aiheuttaman jäähdytteenmenetyksen jälkeen.

Säiliöiden ja niihin liittyvien venttiilien asianmukaisen toiminnan varmistamiseksi turvallisuusteknisissä käyttöehdoissa edellytetään, että säiliöille tehdään purkauskoe reaktoripainesäiliöön kerran kahdessa vuodessa. Lisäksi hätäjäähdytysjärjestelmän koestusohjeessa edellytetään purkauskoe tehtäväksi aina, kun järjestelmässä on tehty huoltotoimia tai hätäsisävesiakulle on tehty sisäpuolinen tarkastus.

Loviisa 2:n vuosihuoltoseisokin aikana yhdelle hätävesiakulle tehtiin sisäpuolinen tarkastus. Purkauskoe ei tehty, koska epäiltiin, että paineakkuun oli sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä pudonnut irto-osa (mittalaitteen pää Ø 1,5 cm, pituus 3 cm). Kadonnutta osaa ei etsinnöistä huolimatta akusta löydetty. Voimayhtiö tilasi VTT:ltä analyysin, jolla selvitetään kadonneen osan ainekoostumus. Irto-osan etsintä ja VTT:ltä tilattu analyysi kestivät niin kauan, että akun purkauskokeen määräaika meni ohi. Koe olisi aiheuttanut riskin, että reaktoriin menee ainetta, jonka koostumusta ei tiedetä. VTT:ltä myöhemmin toimitettu analyysi osoitti, että irto-osasta ei ole vaaraa reaktorin käytölle.

Voimayhtiö ei toimittanut STUKille virallisesti selvitystä akun purkauskokeen tekemättä jättämisestä. STUK keskeytti käynnistyslupan käsittelyn ja pyysi voimayhtiötä toimittamaan selvityksen hätäjäähdytysjärjestelmän käyttökuntoisuudesta sekä mahdollisen irto-osan vaikutuksista järjestelmään ja reaktoriin.

STUKille toimitetussa selvityksessä voimayhtiö esitti kokeen suorittamatta jättämisen perusteeksi sen, että akku oli koestettu viime vuonna ja tulokset olivat olleet hyväksyttäviä. Ennen säiliön sulkemista sille oli tehty tarkka sisäpuolinen tarkastus. Voimayhtiön mukaan ei ollut mitään syytä epäillä, että reaktorissa olisi sellaisia esineitä, jotka voisivat tositilanteesta estää akun suunnitellun turvatoiminnon. Kolme muuta akkua oli koestettu tässä vuosihuollossa ja tulokset olivat hyväksyttäviä. Voimayhtiö esitti, että yhden hätäsisävesiakun koestuksen poisjäännillä ei ole turvallisuusmerkitystä ja näin ollen koestuksen poisjäänti voidaan hyväksyä.

STUK totesi toimitetun selvityksen perusteella, että voimayhtiön tekemät toimenpiteet antavat varmuuden siitä, että turvallisuustoiminto on käyttökunnossa. Sen sijaan asian käsittely todettiin puutteelliseksi. Tieto hätäsisävesiakun purkauskokeen tekemättä jättämisestä ja mahdollisesta irto-osasta säiliössä toimitettiin STUKin paikallistarkastajalle vasta 25.9.2006, kun tilanne oli jo ohi. Voimayhtiön päätös kokeen tekemättä jättämisestä oli tehty 19.9.2006 ennen kuin irto-osan analyysin tulokset olivat tiedossa. Tieto asiasta puuttui myös Loviisa 2:n käynnistyslupahakemuksesta.

STUK edellytti Loviisa 2:n käynnistyslupapäätöksessä, että voimayhtiön tulee laatia asiasta erikoisraportti.

### **Jännitemuuntajien**

#### **vaurioituminen Loviisa 2:lla**

Loviisa 2:lla tapahtui 27.9.2006 toisen päämuuntajan kahden kiskojännitemuuntajan räjähdys, joka johti pieneen paikalliseen tulipaloon. Tapahtumassa ei kukaan loukkaantunut eikä laitosesikön turvallisuus vaarantunut. Tapahtuma aiheutti viivästystä vuosihuollon suunniteltuun aikatauluun.

Kun Loviisa 2:n päämuuntaja tehtiin vuosihuoltotöiden jälkeen ensimmäistä kertaa jännitteelliseksi, saatiin valvomoon maasulkuhälytys ja noin 15 minuutin kuluttua suojaus avasi muuntajakatkaisijan ja aiheutti automaattisen paloilmoituksen ennakkovaroituksen. Kun palokunta saapui, paikalla havaittiin savua ja liekkejä. Kohteen maadoituksen jälkeen palokunta sammutti syttynneen öljypalon nopeasti.

Tapahtuman syynä oli kahden päägeneraattorin virtakiskoihin kytkettynä olleen jännitemuuntajan räjähdys, joka aiheutti niiden öljyjen ja eristemateriaalien syttymisen. Jännitemuuntajat sijaitsevat ulkona generaattorikiskoston alapuolella olevissa koteloissa, jotka myös vaurioituivat tapahtumassa. Koteloissa oli jännitemuuntajien lisäksi kondensaattoreita ja ylijännitesuojia, joista osa vaurioitui räjähdysten seurauksena. Tapahtuman jälkeen vauriot tutkittiin ja palopaikka puhdistettiin öljystä ja noesta, minkä jälkeen vaurioituneet laitteet, kotelot ja kytkennät uusittiin. Korjaustoimenpiteet kestivät noin viikon.

Tapahtuman syyt ja korjaavat toimenpiteet voimayhtiö esittää erillisessä selvityksessä, joka

toimitetaan STUKille tiedoksi. Alustavasti tapahtumaa pidetään inhimillisenä virheenä, joka tapahtui testausten jälkeen tehdyissä kytkentöjen palautuksissa.

### **2.1.2 Turvallisuutta parantavat laitosmuutokset**

#### **Korkeapaineisen hätäjähdytysjärjestelmän pumppujen uusinta**

Fortum Power and Heat Oy vaihtaa Loviisan voimalaitoksen molemmilla laitosesiköillä korkeapaineisen hätäjähdytysjärjestelmän kaksi pumppua uudentyyppeihin. Syynä pumpputyypin vaihtoon on pumppujen varaosien huono saatavuus ja järjestelmän toiminnan luotettavuuden parantaminen. STUK hyväksyi vuonna 2004 voimayhtiön periaatesuunnitelman pumppujen korvaamisesta uusilla ja aikataulun pumppujen vaihtamiselle.

Korkeapaineinen hätäjähdytysjärjestelmä toimii tilanteissa, joissa normaalit lisävesi- ja boorisäätöjärjestelmät eivät riitä huolehtimaan tarvittavasta lisäveden syötöstä. Järjestelmä on jaettu kahteen rinnakkaiseen toisistaan riippumattomaan osaan, joissa kummassakin on kaksi rinnakkaista pumppua (yhteensä neljä pumppua).

Loviisa 2:n vuosihuollossa vaihdettiin hyväksytyn vaihtoaikataulun mukaisesti kaksi pumppua, yksi molempiin rinnakkaisiin järjestelmän osiin, ja toteutettiin vaihdoista aiheutuneet putkistomuutokset. Loviisa 1:llä vastaavat työt tehdään vuosihuoltoseisokissa 2008.

STUK ja STUKin hyväksymä ”Tarkastuslaitos Loviisa YVL” tarkastivat ja hyväksyivät muutostyöhön liittyneet suunnitelmat, tekivät rakenne-tarkastukset ja valvoivat pumppujen koekäyttöä.

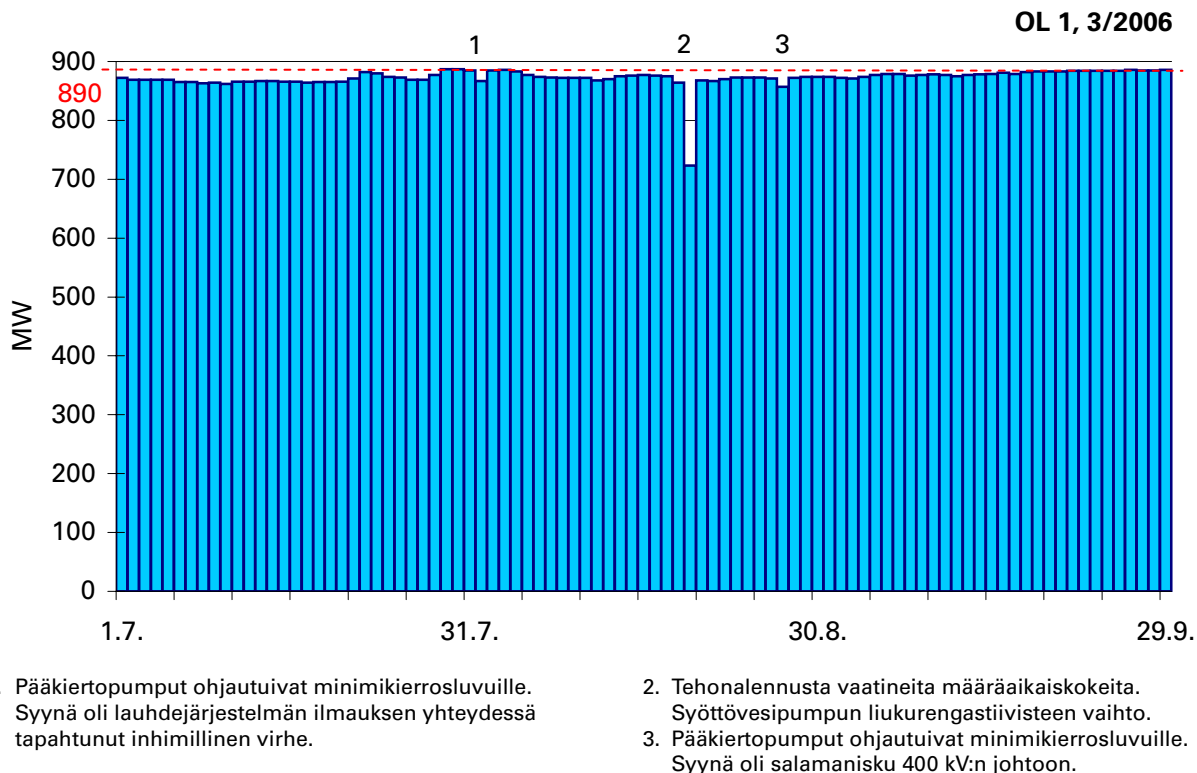
## **2.2 Olkiluoto 1 ja 2**

### **2.2.1 Käyttö ja käyttötapahtumat**

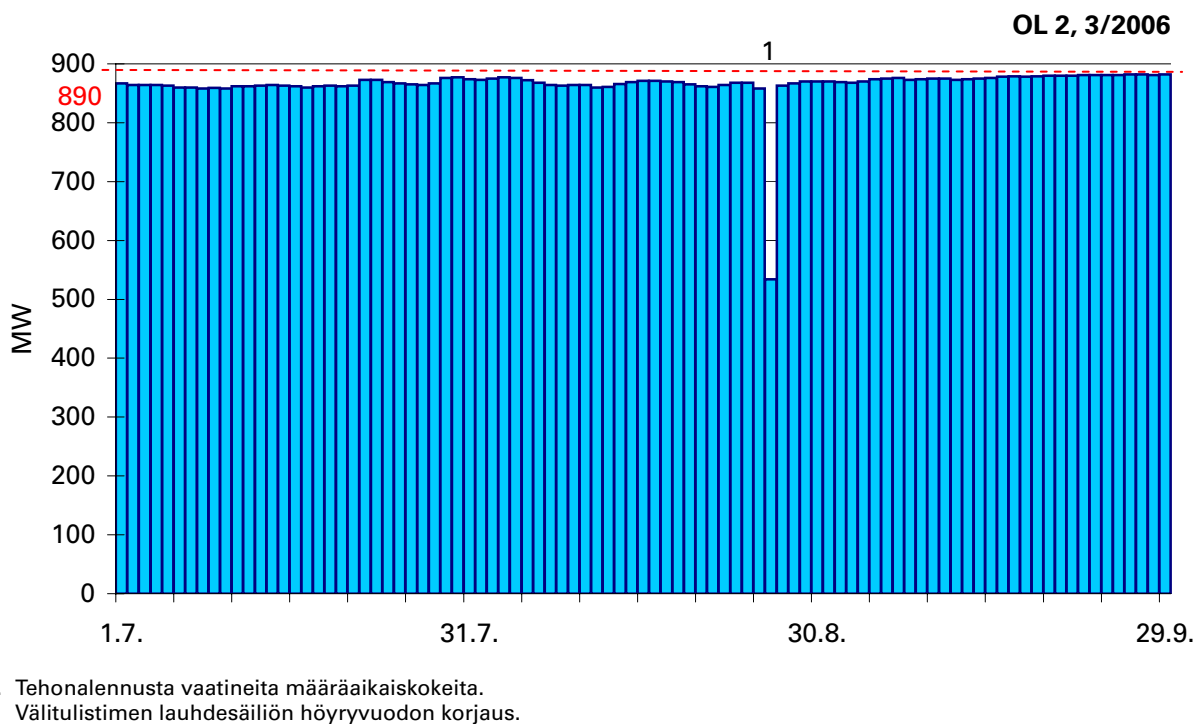
Olkiluodon laitosesiköt 1 ja 2 olivat tuotantokäytössä koko vuosineljänneksen. Olkiluoto 1:n energiakäyttökerroin vuosineljänneksellä oli 98,1 % ja Olkiluoto 2:n 97,3 %. Energiakäyttökerroin kuvaa tuotetun sähköenergian suhdetta energiaan, joka olisi voitu tuottaa, jos laitosesikkö olisi toiminut koko tarkasteluajan nimellisteholla. Olkiluoto 1:n käyttökertoinen laskennassa otettiin käyttöön uutta tehotasoa vastaavat nimellistehot 1.7.2006 lukien. Uudet nimellistehot ovat turbiini-

laitoksella tehtyjen muutosten seurauksena 860 MW (netto) ja 890 MW (brutto). Muutoksia on selvitetty neljännesvuosiraportissa 2/2006 (STUK-

B-YTO 250). Laitosyksiköiden sähköntuotantoa vuosineljänneksellä kuvaavat diagrammit ja tehonalennusten syyt esitetään kuvissa 4 ja 5.



**Kuva 4.** Olkiluoto 1:n keskimääräinen vuorokautinen bruttosähköteho heinä–syyskuussa 2006.



**Kuva 5.** Olkiluoto 2:n keskimääräinen vuorokautinen bruttosähköteho heinä–syyskuussa 2006.

### **Polttoaineen suojakuoren vuoto Olkiluoto 2:lla**

Olkiluoto 2:lla havaittiin 18.7.2006 poistokaasujärjestelmän jatkuvatoimisella mittauksella aktiivisuustason nousua, mikä on merkki polttoaineen suojakuoren vuodosta. Laboratorioanalyysien perusteella voitiin päätellä, että suojakuoren vuoto kohta on pieni. Pienessä suojakuoren vuodossa jäähdyteveeten pääsee reaktorin käyttölämpötilassa lähinnä kaasumaisia tai höyrystyneitä fissiotuotteita kuten radioaktiivisia jalokaasu- ja jodi-isotooppeja. Havaitussa vuodossa vuoto kohta on niin pieni, ettei jäähdytevesi ole päässyt kosketuksiin uraanipolttoaineen kanssa eikä kiinteää polttoainetta ole päässyt jäähdytevesikiertoon.

Voimayhtiö seuraa vuodon kehittymistä. Polttoaineen suojakuoren vuodon seurauksena reaktorivedessä ja poistokaasussa havaittujen radioaktiivisten aineiden määrät ovat vuosineljänneksen aikana pysyneet pieninä eivätkä ole edellyttäneet mitään erityistoimenpiteitä. Vuotava polttoaine poistetaan reaktorista viimeistään vuoden 2007 vuosihuoltoseisokissa.

### **Akustojen määräaikaistarkastuksen aikaraja ylittyi Olkiluodon laitoksen käytetyn polttoaineen varastolla**

Olkiluodon voimalaitoksen käytetyn polttoaineen (KPA) -varaston sähkönsyöttöjä varmentavien akustojen kuntoa valvotaan mm. tarkkailemalla säännöllisesti yksittäisten akkukennojen tilaa. Kennojen määräaikainen, 6 viikon välein tehtävä mittaus jäi suorittamatta vaaditussa ajassa. Mittaus on turvallisuusteknisissä käyttöehdoissa (TTKE) edellytetty koe, jolla testataan määrätyin väliajoin, että akustot täyttävät annetut kriteerit. Määräaikaiskoe on KPA-varaston ennakkuhuolto-ohjelmissa, mutta koe jäi tekemättä koska vastuhenkilöitä oli vaihtunut ja tiedonkulussa oli ongelmia eikä TTKE-vaatimusten sitovuutta tiedostettu. Poikkeama TTKE-vaatimuksesta todettiin 3.7.2006, kaksi päivää takarajan ylittymisen jälkeen.

Akustot on suunniteltu varmentamaan KPA-varaston apusähkönsyöttöjä mm. sähkökeskuksille, turvavalaistukselle ja automaatiojärjestelmille. Kunnonvalvontamittauksen määräajan ylittyminen ei vaikuttanut akustojen toimintakykyyn tar-

vetilanteessa. Tapahtuma ei vaarantanut KPA-varaston turvallisuutta.

## **2.3 Olkiluoto 3**

Vuoden 2006 kolmannella neljänneksellä STUK jatkoi Olkiluoto 3:n järjestelmien, laitteiden ja rakenteiden yksityiskohtaisten suunnitelmien tarkastamista sekä pääkomponenttien valmistuksen ja rakennustöiden valvontaa. STUKin tutkintaraportti turvallisuusvaatimusten hallinnasta Olkiluoto 3:n rakentamisessa valmistui heinäkuussa. Tutkintaryhmä esitti raportissaan useita suosituksia, ja STUK edellytti Teollisuuden Voima Oy:ltä toimenpidesuunnitelmaa puutteiden korjaamiseksi. Voimayhtiö toimitti vastineen tutkintaraportissa esitettyihin suosituksiin syyskuun puolivälissä. Raportti on luettavissa STUKin kotisivuilta ([www.stuk.fi](http://www.stuk.fi)).

Rakentamisessa merkittävin työ oli suojarakennuksen teräsvuorauksen sisäpuolisen pohjalaatan rauditus. Pohjalaattaan asennettiin myös reaktorin jäähdyttämiseen käytettävien hätäjäähdytysjärjestelmien putkistoja ja vakavissa onnettomuuksissa tarvittavia sydänsulan leviämisalueen jäähdytysjärjestelmiin liittyviä rakenteita.

STUK hyväksyi reaktorialueen pohjalaatan betonin lujuteen liittyvät selvitykset sekä voimayhtiön periaate-esityksen pohjalaatan pystyosuuksien suojaamisesta pinnoitteilla, jotka varmistavat betonin pitkäaikaiskestävyyden.

Pääkomponenttien valmistus jatkui Japanissa ja Ranskassa. Pääkiertopiirin ja reaktoripainesäiliön välisten yhdekappaleiden hitsaukset yhdekehään valmistuivat. Höyrystimien valmistus Chalonin tehtaalla on jatkunut suunnitellusti. Kesäkuussa pääkiertopiirin putkiston takeelle tehdyssä testissä todettiin metallin raekoko suunniteltua suuremmaksi. Suuri raekoko havaittiin myös kahdessa muussa kolmannella neljänneksellä testatussa takeessa. Laitostoimittaja selvittää, kuinka raekoko vaikuttaa materiaalin tarkastettavuuteen ja etsii soveltuvaa tarkastusmenetelmää. Paineistimen uudelleen valmistetut takeet hyväksyttiin, ja paineistimen kokoonpanovalmistus on alkamassa.

Laitoksen yksityiskohtaisen suunnittelun tarkastusta jatkettiin prosessi-, sähkö- ja automaatiojärjestelmien sekä laitteiden ja rakentei-

den rakennesuunnitelmien osalta. STUK tarkasti Teollisuuden Voima Oy:n projektin toimintaa rakentamisen aikaisen tarkastusohjelman mukaisesti. Tarkastuksia kohdennettiin voimayhtiön

tarkastusmenettelyihin, projektin ja asiakirjojen hallintaan sekä todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin hyödyntämiseen laitoksen suunnittelussa.



### 3 Ydinjätehuolto

*Risto Paltemaa*

#### **Olkiluodon maanalaisen tutkimustilan ja sijoituspaikkatutkimusten valvonta**

Posiva Oy jatkoi Olkiluodon maanalaisen tutkimustilan rakentamista. Rakentamiseen kuuluu mm. louhintaa poraus-räjäytysmenetelmällä, tunnelin lävistämän kallion tiivistämistä sementti-injektioinnilla sekä kallion lujittamista teräspulteihin ja ruiskubetonoinnilla. Syyskuun lopussa tunneli oli edennyt noin 1400 metrin matkan 140 metrin syvyydelle. Toisen kuilun nousuporausta valmisteltiin syyskuun lopulla tiivistämällä sementti-injektioinnilla kuilun paikkaa.

Kolmannen vuosineljänneksen aikana STUK teki kairauksia koskevan tarkastuksen sekä tarkasti ruiskubetonoinnin aloitusvalmiuden.

Tutkimustilan valvontaan kuuluu valvontakäyntejä, säännöllisiä seurantakokouksia sekä raporttien ja suunnitteluaineistojen tarkastusta. Rakentamisen valvonnassa kiinnitetään huomiota erityisesti kalliorakentamisen laatuun sekä lopusijoituspaikan suotuisten ominaisuuksien säilymiseen, johon vaikuttaa muun muassa tunneliin vuotavan pohjaveden määrä.

STUK jatkoi varmentavien sijoituspaikkatutkimusten valvontaa. STUK ja sen tukena toimiva asiantuntijaryhmä arvioivat mm. Posivan laatujärjestelmän ohjeita, jotka käsittelevät lopusijoituksen pitkäaikaisturvallisuudelle tärkeitä toimintoja.

## 4 Ydinmateriaalivalvonta

*Marko Hämäläinen*

STUK tekee ydinmateriaaleja koskevat tarkastukset Olkiluodon ja Loviisan voimalaitoksilla yhdessä IAEA:n ja Euroopan komission (Euratom) kanssa. Tarkastusten yhteydessä STUK, IAEA ja komissio todentavat, että laitosten toimittamat raportit ja ilmoitukset ovat yhtäpitäviä todellisen tilanteen kanssa. Valvonnalla varmistetaan, että ydinmateriaaleihin liittyvät toimet voimalaitoksilla on hoidettu lakien ja säädösten mukaisesti ja että Suomen sopimien kansainvälisten sopimusten velvoitteet voidaan täyttää.

### Loviisan voimalaitos

STUK teki yhdessä IAEA:n ja Euroopan komission kanssa Loviisa 1:n reaktorisydämen ydinmateriaalitarkastuksen 6.8.2006 ja Loviisa 2:n reaktorisydämen tarkastuksen sekä koko Loviisan laitosalueen ydinmateriaalien varastonmääritystarkastuksen 19.9.2006. Tarkastuksissa ei todettu huomautettavaa.

STUK ja IAEA tarkastivat 1.9.2006 Loviisan voimalaitoksella siirtosäiliön sisällön (muita elementtejä kuin polttoainetta) ennen säiliön siirtoa Loviisa 2:lta käytetyn polttoaineen varastoon. Tarkastuksessa ei ilmennyt huomautettavaa. STUK teki tarkastuksen komission puolesta. Fortum Power and Heat Oy toimitti Loviisan voimalaitoksen ydinmateriaalikäsikirjan päivityksen STUKiin hyväksyttäväksi.

### Olkiluodon voimalaitos

STUK teki määräaikaistarkastuksen yhdessä IAEA:n ja Euroopan komission kanssa Olkiluodon voimalaitoksella 21.–22.9.2006. Tarkastuksen kohteena olivat Olkiluoto 1, Olkiluoto 2 ja käytetyn polttoaineen varasto. Tarkastuksessa ei ilmennyt huomautettavaa.

Teollisuuden Voima Oy toimitti Olkiluodon voimalaitoksen ydinmateriaalikäsikirjan päivityksen STUKiin hyväksyttäväksi.

STUK myönsi Teollisuuden Voima Oy:lle kaksi lupaa zirkoniumsauvojen vientiin Espanjaan ja Ruotsiin.

### Loppusijoitustilan ydinsulkuvalvonta

Posiva Oy:n loppusijoituslaitoksen maanalaisten tilojen rakentaminen Olkiluodossa eli ONKALO-vaiheen tutkimustilojen louhiminen on ydinmateriaalivalvonnan piirissä. STUK tarkastaa, että rakennetut tilat vastaavat Posivan ydinsulkuvalvontaa varten toimittamia raportteja. Tarkastukset tehdään systemaattisesti ennen kalliopintojen peittämiseen liittyviä ruiskubetonointeja. Heinäelokuussa tarkastettiin lujitettava kalliokatto 1170 m:iin asti. Lisäksi tehdään erillisiä tarkastuksia ydinsulkujärjestelmän toimivuuden varmistamiseksi. Syyskuun lopussa tunnelin eteneminen todennettiin 1403 m tunnelipituuteen asti.

### Valvontasopimuksen lisäpöytäkirjan mukaiset raportit ja ilmoitukset

Fortum Nuclear Services Oy vei kesäkuussa Suomesta autoklaavin osia Venäjälle. STUK toimitti heinäkuussa IAEA:lle ja komissiolle valvontasopimuksen lisäpöytäkirjan mukaisen Suomen valtion vastuulla olevan ilmoituksen laitteiden viennistä.

### Muut asiat

STUK myönsi VTT:lle luvan FiR 1 -tutkimusreaktorin säätösauvakoneistojen vientiin Yhdysvaltoihin ja tuontiin takaisin. STUK antoi kauppa- ja teollisuusministeriölle lausunnon Fortum Nuclear Services Oy:n hakemuksesta, joka koski tietoa-ineiston vientiä Venäjälle.

## 5 Säteilyn käyttö

*Ritva Bly, Ritva Havukainen, Antti Kosunen, Mika Markkanen*

### 5.1 Ionisoiva säteily

#### Kliinisten auditointien asiantuntijaryhmän suositus

Sosiaali- ja terveysministeriö asetti 24.2.2004 säteilyn lääketieteellisen käytön kliinisen auditointin asiantuntijaryhmän, jonka tehtävä on koordinaida ja kehittää auditointitoimintaa sekä arvioida auditointiohjelmiä. Ryhmän toimikausi on 1.3.2004–31.12.2006. Heinäkuun alussa tämä asiantuntijaryhmä julkaisi suosituksen No 2, 1.7.2006. Säteilyn lääketieteellisen käytön kliinisten auditointien kehittäminen: suositukset toiselle auditointikierrokselle.

#### Säteilyturvakeskuksen päätös

STUK vahvisti elokuussa terveydenhuollon röntgenkuvaus- ja läpivalaisulaitteille sekä tietokonetomografialaitteille käytönaikaiset hyväksyttävyyssvaatimukset. Päätös tuli voimaan lokakuun alussa. Hyväksyttävyyssvaatimukset on vahvistettu säteilyn lääketieteellisestä käytöstä annetun Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 423/2000 30 §:n perusteella ja ne liittyvät STUKin aiemmin 20.3.2006 vahvistamaan ohjeeseen ST 3.3, Röntgentutkimukset terveydenhuollossa.

#### Röntgendiagnostiikka

STUK kutsui röntgentoiminnassa mukana olevat sairaalafyysikot elokuussa ensimmäistä kertaa vuosien tauon jälkeen keskustelemaan uusien kuvantamistekniikoiden ja -menetelmien yhteisistä tutkimustarpeista. Yhteistyötä ja STUKin osallistumista tutkimukseen sekä uusimman kansainvälisen tiedon välittämiseen pidettiin erittäin tarpeellisenä.

#### Sädehoito

Lahden uusi sädehoitokeskus aloitti toimintansa lokakuussa. Sädehoitotoiminta Lahdessa on osa Tampereen yliopistollisen sairaalan toimintaa.

#### Työntekijöiden säteilyannokset

Ionisoivan säteily käyttöön osallistuneiden, annostarkkailussa olleiden työntekijöiden säteilyannokset kirjattiin STUKin ylläpitämään annosrekisteriin. Teollisuuden säteilyn käytössä tammi-kuu- syyskuu välisenä aikana annosrekisteriin kirjattujen säteilyannosten summa oli edellisiä vuosia hieman suurempi. Muilla toimialoilla säteilyannokset vastasivat edellisten vuosien vastaavan ajankohdan annoksia. Kuvassa 6 esitetään työntekijöiden yhteenlasketut annokset (syväannokset) toimialoittain aikavälillä tammi-syyskuu viideltä viimeiseltä vuodelta.

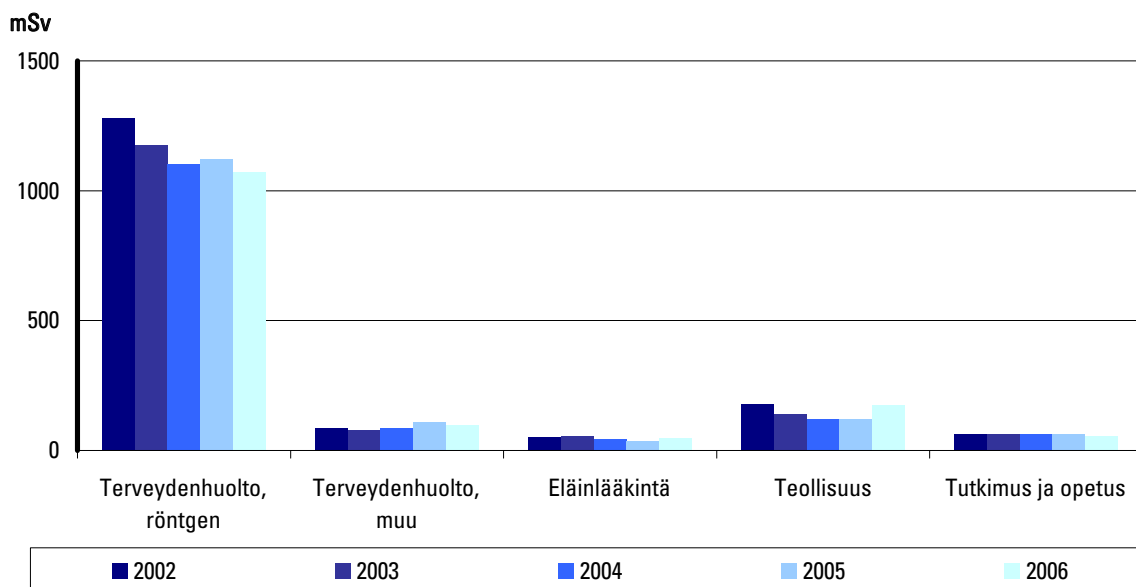
#### Mittanormaalitoiminta

STUK toimii säteilysuureiden kansallisena mittanormaalilaboratoriona ja pitää yllä mittanormaaleja Suomessa tehtävien säteilymittausten tarkkuuden ja jäljitettävyyden varmistamiseksi. IAEA:n mittanormaalilaboratorioille järjestämässä veteen absorboituneen annoksen TLD-mittausvertailussa (koboltti-60-gammasäteilykeila) STUKin mittanormaalilaboratorion tulos vastasi täysin (poikkeama 0,0 %) vertailuarvoa toimenpiderajojen ollessa  $\pm 3,5$  %.

#### Poikkeavat tapahtumat ionisoivan säteilyn käytössä

##### Kuljetukset

Brasilian säteilyturvallisuusviranomaiselta (CNEN) saatiin ilmoitus, että Suomesta lähetetyt säteilylähteet eivät olleet saapuneet perille. Lähetys sisälsi kaksi krypton-85-lähdettä, joiden aktiivisuus on yhteensä 29,6 GBq. Säteilylähteet ovat teollisuudessa paperin paksuuden mittalaitteissa käytettäviä beeta-säteilylähteitä. Asianmukaisessa kuljetuspakkauksessa lähteet eivät aiheuta vaaraa ympäristölle. Paketti oli matkalla Saksan kautta Brasiliaan. Viimeinen havainto paketista on Frankfurtin lentokentältä 15.7.2006.



**Kuva 6.** Säteilyn käytöstä työntekijöille kirjatut yhteenlasketut annokset (syväannos) toimialoittain aikavälillä tammi-syyskuu vuosina 2002–2006.

### Teollisuus

Radionuklidilaboratoriossa pääsi sisäilmaan fluori-18 isotooppia. Tapahtuma johtui siitä, että vetokaappien ilmanvaihtolaitteistoon oli tehty huoltotöiden aikana muutos, josta käyttäjät eivät olleet tietoisia. Vetokaappien ilmanvaihto oli erehdyksessä kytkettynä pois päältä ja tämän vuoksi isotoopin käsittelyn päästöt eivät ohjautuneet vetokaapin ilmanvaihtoon vaan pääsivät kulkeutumaan työtiloihin normaali-ilmanvaihdon mukana. Suurimmaksi mahdolliseksi työntekijän annokseksi arvioitiin laskennallisesti 0,33 mSv. Kokokehomittauksen perusteella arvioitu työntekijän annos jäi tästä kuitenkin noin kymmenesosaan. Vastaavan tapahtuman ennaltaehkäisemiseksi toiminnan harjoittaja tarkensi työohjeitaan.

## 5.2 Ionisoimaton säteily

STUKin edustaja osallistui kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn toimikunnan (ICNIRP) pientaajuisten kenttien työryhmän (TG-ELF) kokoukseen, joka luonnosteli ICNIRPin uusia ohjeistoja alle 100 kHz sähkö- ja magneettikentille. Kokouksen järjesti Iso-Britannian terveysuojeluviran-

omainen HPA (ent. NRPB) Didcotissa Englannissa 21.9.2006.

STUK järjesti tiedotustilaisuuden 4.10.2006 Helsingissä työntekijöiden altistumisesta voimakkaalle sähkömagneettisille kentille. Tiedotustilaisuudessa julkistettiin Sähkömagneettisia kenttiä käsittelevä oppi- ja tietokirja, joka on kuudes osa STUKin julkaisemasta Säteily- ja ydinturvallisuus-kirjasarjasta.

STUKin ionisoimattoman säteilyn laboratorio osallistuu EMSOFT-hankkeeseen (Software development for computational EMF dosimetry), jossa kehitetään ohjelmistoja sähkömagneettisten kenttien simulointiin. Simuloituja kenttiä voidaan käyttää tukiasema-antennien aiheuttaman altistumisen arviointiin ja turvaetäisyyksien laskemiseen erilaisille antenneille. STUKin tehtävänä hankkeessa on mm. ohjelmistoilla laskettujen tulosten varmistaminen simuloinneilla ja antennien läheisyydessä tehtävillä mittauksilla. Hankkeeseen osallistuvat Nokia, Teknillisen korkeakoulun Sähkömagneetiikan laboratorio, Tieteen tietotekniikan keskus CSC, Tampereen teknillisen yliopiston Ragnar Granit -instituutti ja STUK. Hankkeen rahoittajina ovat TEKES ja Nokia-yhtymä.

## 6 Valtakunnallinen ympäristön säteilyvalvonta

*Raimo Mustonen*

STUK valvoo jatkuvasti keinotekoisien säteilyn ja keinotekoisien radioaktiivisten aineiden esiintymistä elinympäristössä yhteistyössä useiden muiden viranomaisten ja yhteistyökumppaneiden kanssa. Ympäristön säteilyvalvontaohjelma sisältää ulkoisen annosnopeuden jatkuvan ja automaattisen monitoroinnin, ulkoilman radioaktiivisten aineiden ja kokonaisbeeta-aktiivisuuden monitoroinnin, radioaktiivisen laskeuman, pinta- ja juomaveden, maidon ja elintarvikkeiden radioaktiivisuuden säännöllisen monitoroinnin sekä ihmisen kehossa olevien radioaktiivisten aineiden monitoroinnin. Voimassa olevan säteilyvalvontaohjelman sisältö on kuvattu liitteessä 2.

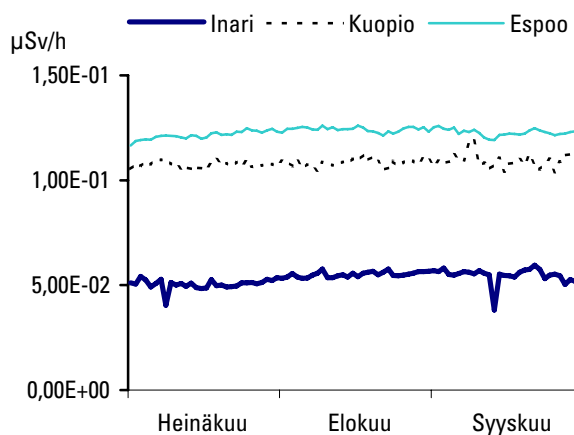
### 6.1 Ulkoinen säteily

Suomessa ulkoisen säteilyn annosnopeutta valvotaan reaaliaikaisella ja kattavalla mittausasemaverkolla. STUKin ja paikallisten pelastusviranomaisten ylläpitämään automaattiseen valvontaverkkoon kuuluu noin 290 GM-antureilla varustettua mittausasemaa. Kaikki mittausasemat on varustettu automaattisella hälytysjärjestelmällä, joka hälyttää mm. STUKin päivystävän säteilyasiantuntijan, jos säteilyn aiheuttama annosnopeus ylittää asetetun hälytysrajan.

Valvontaverkon uudistaminen on parhaillaan meneillään siten, että verkon kaikki mittausasemat ja niiden tiedonvälitys STUKiin ja alueellisiin hätäkeskuksiin uusitaan. Uudistustyö aloitettiin vuoden 2005 alussa ja syyskuun 2006 loppuun

mennessä yhteensä 83 valvonta-asemaa oli uusittu (kaikki asemat Hämeen hätäkeskuksen alueella ja Länsi-Suomen läänissä ja osa Etelä-Suomen läänin asemista). Verkon uudistus saadaan valmiiksi vuoden 2007 loppuun mennessä.

Vuoden 2006 kolmannella vuosineljänneksellä havaittiin yksi kohonnut säteilytaso Kerimäellä (24. elokuuta). Säteilytason nousu aiheutui lähitöillä tehdystä kaukolämpöputken hitsausaumojen röntgenkuvauksista. Kuvassa 7 esitetään ulkoisen säteilyn annosnopeus (mikrosieverttiä tunnissa) Espoossa, Kuopiossa ja Inarissa. Päivittäiset annosnopeudet eri valvonta-asemilla raportoidaan STUKin verkkosivuilla ([www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilytilanne](http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilytilanne)).



**Kuva 7.** Ulkoisen säteilyn annosnopeus kolmella paikkakunnalla vuoden 2006 kolmannella vuosineljänneksellä.

## 6.2 Ilman radioaktiivisuus

Ulkoilman radioaktiivisten aineiden määriä valvotaan yhdeksällä paikkakunnalla eri puolilla Suomea. Lisäksi molempien ydinvoimalaitospaikojen ympäristössä – Loviisassa ja Olkiluodossa – on neljä voimayhtiöiden omaa valvonta-asemaa. STUK toteuttaa ilman radioaktiivisuuden valvontaa yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen ja puolustusvoimien kanssa.

Ulkoilman sisältämiä radioaktiivisia aineita valvotaan pumppaamalla suuri määrä ilmaa suodattimen läpi, johon ilmassa olevat radioaktiiviset aineet jäävät. Lasikuitusuodatin kerää radioaktiivisia aineita sisältävät hiukkaset. Aktiivihiilisuodatin puolestaan pidättää kaasumaisia aineita ja esim. radioaktiivista jodia. Suodattimet analysoidaan laboratorioissa. Käytetty menetelmä on äärimmäisen herkkä – jos kuutiometrissä ilmaa tapahtuu yksi radioaktiivinen hajoaminen kuukaudessa, voidaan se yleensä havaita.

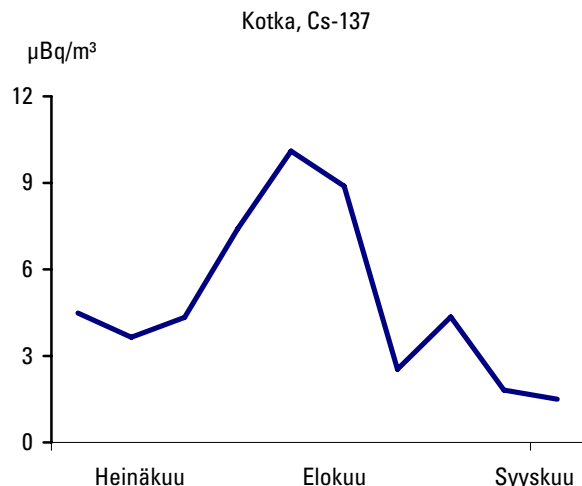
Kuvassa 8 esitetään ulkoilman cesium-137 pitoisuudet Kotkan valvonta-asemalla vuoden 2006 kolmannella vuosineljänneksellä (mikrobeque-relliä kuutiometrissä ilmaa). Tänä päivänä cesium-137 on ainoa keinotekoinen radionuklidi, jota havaitaan säännönmukaisesti Suomen ilmatilassa. Se on jäämä vanhoista ilmakehässä tehdyistä ydinpommikokeista ja Tshernobylin onnettomuudesta.

Kesän aikana oli Venäjän puolella pitkään kestäneitä laajoja metsäpaloja, joiden savu levisi myös Suomen puolelle. Ilman radioaktiivisuuden valvon- nassa seurattiin myös sitä, näkyvätkö metsäpalot kohonneina cesium-137 pitoisuuksina Etelä- ja Itä-Suomessa. Tällainen on mahdollista laajojen

metsäpalojen yhteydessä, mikäli palavassa met- sässä on riittävästi Tshernobylin onnettomuu- desta peräisin olevaa radioaktiivista laskeumaa. Tavanomaista korkeampia cesium-137 pitoisuuksia ilmassa ei kuitenkaan havaittu.

## 6.3 Poikkeavat säteilyhavainnot

Vuoden 2006 kolmannella vuosineljänneksellä tehtiin yksi normaalista poikkeava havainto ulkoilman radioaktiivisuudessa. Kotkassa 25. syyskuuta ja 2. lokakuuta välisenä aikana havaittiin ilmassa keinotekoisista koboltti-60:a havaitsemisrajan ylittävä määrä, 0,27 mikrobq/m<sup>2</sup>. Havaittu koboltti-60 on mitä ilmeisimmin peräisin jostain lähialueen ydinlaitoksesta. Mitattu pitoisuus oli niin pieni, ettei sillä ollut mitään terveydellisiä haittavaikutuksia lähiseudun asukkaisiin.



**Kuva 8.** Cesium-137 pitoisuus ulkoilmassa Kotkan valvonta-asemalla vuoden 2006 kolmannella vuosineljänneksellä.

## 7 STUKin valmiustoiminta

Anne Weltner

Vuoden 2006 kolmannella neljänneksellä ei ollut yhtään tilannetta, jossa olisi ollut aihetta ryhtyä erityistoimiin väestön tai ympäristön suojelemiseksi.

### 7.1 Yhteydenotot STUKin päivystäjään

STUKin päivystäjään otettiin yhteyttä kaikkiaan 34 kertaa:

- Olkiluoto 1:ltä otettiin kolme kertaa yhteyttä päivystäjään laitossyksikön tehonalennuksen johdosta. Loviisan voimalaitokselta oltiin neljästi yhteydessä päivystäjään. Yksi ilmoitus koski maastopaloa Hästholmenin saarella. Toisessa ilmoituksessa kerrottiin pienen määrän radioaktiivista kontaminaatiota levinneen valvonta-alueelle ja kolmannessa laitosalueella sijaitsevan muuntajan vaurioitumisesta. Neljäs yhteydenotto koski Loviisa 2:n pyyntöä poiketa turvallisuusteknisistä käyttöehdoista. Suomen ydinvoimalaitoksia koskevia tapahtumia kuvataan luvussa 2.
- Yksi ilmoitus liittyi radioaktiivisen aineen vuotamiseen huonetilaan laboratoriossa. Toinen ilmoitus liittyi kadonneisiin krypton-85 säteilylähteisiin, jotka olivat matkalla Suomesta Brasiliaan. Tapahtumat on kuvattu luvussa 5.
- Seitsemän päivystäjän vastaanottamaa ilmoitusta liittyi säteilyvalvontaan ulkoisen säteilyn mittaussasemilla Suomessa. Kaksi ilmoitusta aiheutui kaukolämpöputken hitsaussaumojen röntgenkuvauksista mittaussaseman läheisyydessä. Yksi ilmoitus liittyi säteilymittausasemien testaukseen. Muut ilmoitukset aiheutuivat vikaantuneista mittareista ja häiriöistä mittaussasemia ohjaavissa tietokoneissa. Lisäksi yksi ilmoitus liittyi Rajavartiolaitoksen tekemään poikkeavaan havaintoon, joka kuitenkin aiheutui viallisen mittarin antamasta tuloksesta. Lisää tietoa Suomen säteilyvalvonnasta löytyy luvusta 6.

- Kansainvälisiä yhteyskokeiluja STUKin hälytysnumeroihin tuli viisi kappaletta.
- Kahdeksan ilmoitusta liittyi erilaisiin kotimaisiin ja kansainvälisiin tiedonantoihin, kyselyihin ja vikasanomiin.

### 7.2 Poikkeavat tapahtumat ulkomailla

#### Tapahtuma Forsmarkin ydinvoimalaitoksen 1-yksiköllä Ruotsissa

Ruotsin ydinturvallisuusviranomaisen SKI ilmoitti 1.8.2006 kaikille Pohjoismaille hälytyskanavia myöten, että Forsmarkin ydinvoimalaitoksen 1-yksikössä oli sattunut merkittävä häiriö laitossyksikön sähköjärjestelmissä 25.7.2006. STUKin asiantuntijat olivat saaneet tiedon tapahtumasta 27.7.2006, kun SKI oli lähettänyt tapahtumakuvauksen ja tapahtuman INES-luokan IAEA:n NEWS-verkkosivuille. Tapahtuma oli luokiteltu INES-luokkaan 2 eli merkittävä turvallisuuteen vaikuttava tapahtuma.

STUK selvitti tapahtumaa olemalla yhteydessä Ruotsin SKI:hin ja voimayhtiöihin (Teollisuuden Voima Oy ja Fortum Power & Heat Oy) Suomessa. Tapaus uutisoitiin laajasti sekä Suomessa että ulkomaisissa tiedotusvälineissä. Forsmarkin ydinvoimalaitoksen tapahtuma on kuvattu tarkemmin luvussa 10.

#### Tulipalo venäläisessä ydinkäyttöisessä sukellusveneessä Barentsinmerellä

STUK sai 7.9.2006 tiedotusvälineeltä yhteydenoton, joka koski Venäjällä Barentsinmerellä satunutta ydinkäyttöisen sukellusveneen onnettomuutta. Svjatoj Daniil Moskovskij -nimisessä 106-metrisessä Viktor-3-luokan sukellusveneesä (K-414) syttyi tulipalo edellisenä iltana kello 20:38 Suomen aikaa. Venäjän Pohjoiseen laivastoon kuuluva K-414 -alus oli ankkurissa Rybatsin niemimaan (Kalastajasaarento) pohjoispuolella.

Keulaosaston sähkömekaanisessa osastossa tapahtui oikosulku, jonka seurauksena syttyi tulipalo. Se sammutettiin aluksen kemiallisella sammutusjärjestelmällä, mutta sammutuksen yhteydessä kuoli kaksi merisotilasta palon synnyttämiin savukaasuihin. Automatiikka pysäytti suunnitellusti reaktorin turvalliseen tilaan. Venäjän viranomaisten mukaan tapahtumalla ei ollut säteilyvaikutuksia alukseen eikä ympäristöön. Vaurioitunut alus hinnattiin Vidjajevon tukikohtaan.

STUK selvitti tapahtumaa olemalla yhteydessä Venäjän säteily- ja ydinturvallisuusviranomaisiin. Lisäksi STUK välitti saamaansa tietoa tiedotusvälineille ja muiden Pohjoismaiden säteily- ja ydinturvallisuusviranomaisille.

### **Tapahtuma Kjellerin ydintutkimusreaktorissa Norjassa**

Norjan säteilyturvallisuusviranomainen NRPA ilmoitti kaikille Pohjoismaille hälytyskanavia myö-

ten, että Kjellerin tutkimusreaktori oli jouduttu sulkemaan 9.9.2006 aamuyöllä säteilytason nousua reaktoria suojaavassa teräskuoressa. Norjan viranomaisen mukaan ympäristössä ei havaittu tavanomaista suurempia säteilyarvoja. Norjan kriisikomitea kokoontui selvittämään tilannetta.

Syynä kohonneeseen säteilytasoon oli reaktoriin liittyvässä järjestelmässä putken ja pumpun välisen liitoskohdan pieni vuoto. Vuoto oli yhteensä noin kilon verran raskasta vettä, joka vastaa arviolta 60 GBq tritiumia. Vuoto tapahtui teräksisen suojakuoren sisään ja myöhemmin ilmanvaihdon kautta ulkoilmaan. Tutkimusreaktori sai käynnistysluvan 27.9.2006.

Vuonna 1966 käynnistettyä IFE:n (Institutt for energiteknikk) tutkimusreaktoria käytetään lääketieteen ja muun tutkimuksen tarpeisiin. JEEP II tutkimusreaktori sijaitsee Kjellerissä lähellä Osloa.



## 8 Tutkimus

*Raimo Mustonen*

### 8.1 Valmistuneet hankkeet

STUK tekee yleistajuisen tiivistelmän kaikista julkaisemistaan kansainvälisistä tai kotimaisista alkuperäisjulkaisuista tiedotusvälineiden ja tutkimusaiheista kiinnostuneiden käyttöön. Seuraavassa on lyhyet kuvaukset vuoden 2006 kolmannen vuosineljänneksen aikana ilmestyneistä alkuperäisjulkaisuista.

*Heikkinen P, Ernst H, Huuskonen H, Komulainen H, Kumlin T, Mäki-Paakkanen J, Puranen L, Juutilainen J. No effects of radiofrequency radiation on 3-Chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone-induced tumorigenesis in female Wistar rats. Radiation Research 2006; 166: 397–408.*

Tutkimuksessa selvitettiin radiotaajuisen (RF) säteilyn vaikutuksia syöpäkasvainten kehittymiseen 3-kloro-4-(diklorometyyli)-5-hydroksi-2(5H)-furanonille (MX), altistetuissa rotissa. MX on DNA-vaurioita (mutaatioita) aiheuttava yhdiste, jota syntyy pieniä määriä juomaveden desinfioinnin (klooraus) yhteydessä. Tutkimus kuului EU:n rahoittamaan CEMFEC-hankkeeseen, jossa Kuopion yliopisto (KY) toimi koordinaattorina ja Säteilyturvakeskus (STUK) oli KY:tä avustavana osapuolena. STUK kehitti laitteiston, joka soveltui rottien altistamiseen GSM 900 -puhelimien RF-säteilylle. STUK huolehti myös RF-altistustasojen määrittämisestä ja varmentamisesta (RF-dosimetria) tutkimuksen aikana.

RF-säteily ei vaikuttanut tilastollisesti merkittävästi kuolleisuuteen, kasvainten kokonaismääriin eikä minkään yksittäisen elimen tietyn kasvaintyyppin ilmaantuvuuteen. Havaittiin kuitenkin, että kun suoliliepeen imusolmukkeiden kaikkia verisuonikasvaintyypppejä tarkasteltiin

yhtenä kokonaisuutena, oli ko. kasvaimia korkean RF-altistuksen ryhmässä enemmän kuin valealtistusryhmässä. Häkkikontrolliryhmälle tehty histopatologinen analyysi viittasi kuitenkin siihen, että nyt havaittu ero johtui pikemminkin ko. verisuonikasvainten epätavallisen vähäisestä määrästä vertailuryhmässä (valealtistusryhmä) kuin suuresta määrästä korkean RF-altistuksen ryhmässä. Kun tarkasteltiin muita kudoshuutoksia kuin kasvainmuutokset, eroja RF-altistettujen ja valealtistettujen eläinten välillä havaittiin ainoastaan yksittäisissä elimissä (kyynelrauhasissa, keuhkoissa, maksassa ja ihossa). Kaikki muutostyypit olivat sellaisia, joita esiintyy tyypillisesti ikääntyneissä rotissa, eikä niiden päätelty johtuvan RF-altistuksesta. Tutkimuksen tulokset eivät anna viitteitä siitä, että matala-tasoinen ja pitkäaikainen RF-altistus edistäisi syöpäkasvainten kehittymistä.

*Kapanen M, Tenhunen M, Hämäläinen T, Sipilä P, Parkkinen R, Järvinen H. Analysis of quality control data of eight modern radiotherapy linear accelerators: the short- and long-term behaviours of the outputs and the reproducibility of quality control measurements. Physics in Medicine and Biology 2006; 51 (14): 3581–3592.*

Työssä analysoitiin HYKS:n vuosina 2000–2004 keräämää yhteensä kahdeksan sädehoitokiihdyttimen laadunvarmistusaineistoa. Tarkoituksena oli tuottaa tietoa kiihdyttimen ulostulon laadunvarmistuksen (LV) arvioimiseksi ja kehittämiseksi sekä esittää LV-aineiston analyysiin soveltuva menetelmä. Kiihdyttimen annosulostulon lyhyen ja pitkän aikavälin muutokset määritettiin soveltamalla kokeellisesti etsittyjä matemaattisia malleja LV-mittausten tuloksiin. Normaalisti pit-

källä aikavälillä ( $\geq 12$  kk) tapahtuvat ulostulon muutokset olivat hyvin ( $\leq 1$  %) kuvattavissa joko suoralla tai yksi-eksponentiaalisella mallifunktiolla. Toleranssin mukainen 2 %:n muutos tapahtui ajassa 18 kk, mutta hajonta oli suuri (SD=12 kk). Nopeimmat 2 %:n muutokset tapahtuivat 2–3 kk:ssa ja ne havaittiin joillakin uusilla kiihdyttimillä heti käyttöönoton jälkeen, mutta kiihdyttimet stabiloituivat n. 2–3 ensimmäisen käyttövuoden aikana. Myös sairaalan ta-solevyionisaatiokammiolla (suljettu kammio) tehtyjä ulostulon vakioisuusmittauksia tarkasteltiin. Niiden toistettavuus ja vakioisuusmittarin pitkäaikaisstabiilisuus määritettiin hyödyntämällä mittausten mallisovittamista. Toistettavuus oli 0,2–0,5 % (1 SD) riippuen vakioisuusmittalaitteen asettelukäytännöstä. Suurin havaittu vakioisuusmittareiden pitkäaikaisryömintä oli n. 0,3 %/kk. Sairaalan absoluuttimittausten toistettavuudeksi arvioitiin 0,5 % (1 SD). Esitetty mallisovittamiseen perustuva LV-tulosten analyysimenetelmä todettiin hyödylliseksi, sillä se helpottaa virheellisten mittaustulosten ja kiihdytinten vikoihin liittyvien epänormaalien ulostulon muutosten havaitsemista. Lisäksi menetelmä tarjoaa lähestymistavan LV-mittausten toistettavuuden arvioimiseksi.

*Leppänen A-P, Uusitalo J, Greenlees PT, Herzberg R-D, Amzal N, Becker F, Butler PA, Chewter AJC, Cocks JFC, Dorvaux O, Eeckhaudt S, Eskola K, Gerl J, Grahn T, Hammond NJ, Hauschild K, Helariutta K, Heßberger FP, Houry M, Jones GD, Jones PM, Julin R, Juutinen S, Kankaanpää H, Kettunen H, Khoo TL, Korten W, Kuusiniemi P, Le Coz Y, Leino M, Lister CJ, Lucas R, Muikku M, Nieminen P, Nyman M, Page RD, Pakarinen J, Rahkila P, Reiter P, Sarén J, Schlegel Ch, Scholey C, Stezowski O, Theisen Ch, Trzaska WH, Wollersheim HJ. Recoil-fission tagging of the transfermium nucleus  $^{252}\text{No}$ . *The European Physical Journal* 2006; A (28): 301–306.*

Keinotekoista nobeliumin ( $Z=102$ ) isotooppia tuotettiin ydinreaktiossa  $^{48}\text{Ca} + ^{206}\text{Pb}$ . Raskasionei suihku tuotettiin Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratoriossa. Tuotettu suihku kiihdytettiin  $K=130$  syklotronilla ja ammuttiin RITU-koelaitteiston kohtiotasolla olevaan ohueen lyijykalvoon. Ydinfuusiossa tuotetut nobelium-252 isotoopit separoitiin primäärisuihkusta ja implantoitiin

RITU:n fokaalitasolla sijaitsevaan PIPS tyyppiiseen pii-ilmaisimeen. Nobelium isotoopin alfa hajoaminen rekisteröidään pii-ilmaisimessa, kun taas suora gammasäteily havainnoitiin Jurosphere II -gammailmaisinlaitteistolla. Alfahajoaminen ja suorat gammasäteet yhdistettiin nk. recoil-decay tagging menetelmällä jolla suoran gammasäteilyn spektri saadaan ”siivottua” ja hyvinkin pienet reaktiokanavat saadaan näkyviin.

Kokeessa tuotetuista nobelium isotoopeissa havaittiin alfahajoamisen lisäksi fissiot mitä ei ole aikaisemmin tehty. Molemmilla hajoamismodeilla käytettiin hyväksi recoil-decay tagging menetelmää jolla saatiin lisää statistiikkaa gammasäteilyspektreihin. Samalla todistettiin se, että alfahajoaminen sekä fissio lähtevät samalta tilalta. Gammaspektreissä nähtiin ennen näkemättömiä gammasiirtymiä jotka eivät kuuluneet nobelium-252 päähajoamissarjaan eli rotaatiosarjaan. Nämä siirtymät tulkittiin siirtymiksi ei-yrast tiloilta päähajoamiskanavalle. Myöhemmin Saksassa GSI:ssä sekä USA:ssa ANL:ssa tehdyt kokeet osoittivat tämän tulkinnan oikeaksi ja tarkensivat ei-yrast sarjan olevan K isomeeri. Näiltä osin nobelium-252 muistuttaa nobelium-254 isotooppia jota on tutkittu paremmin ja siinä on havaittu useita eri K isomeerejä. Tutkimusten mukaan K isomeeri olisi keino jolla uudet superraskaat isotoopit tulevat stabiilimmaksi.

*Leszczynski D, Meltz ML. Questions and answers concerning applicability of proteomics and transcriptomics in EMF research. Report. *Proteomics* 2006; 6 (17): 4674–4677.*

Proteomiikassa, transkriptomiikassa ja metabolomiikassa käytettyjen laaja-alaisen seulontamenetelmien (high-throughput screening techniques, HTST) soveltuvuus käytettäväksi sähkömagneettisten kenttien aiheuttamien biologisten ja terveysvaikutusten tutkimuksessa on kuuma keskustelunaihe. Näiden uudenaikaisten seulontamenetelmien käyttö nopeuttaa tutkimusta, ja antaa laajemman käsityksen niistä biokemiallisista tapahtumista, jotka seuraavat sähkömagneettisille kentille altistumisesta. Toisaalta näiden tekniikoiden käytössä on ongelmia toistettavuudessa, sekä eri kokeiden välisessä vaihtelussa. Lisäksi tekniikalla on taipumus tuottaa vääriä positiivisia tuloksia. Nämä ja muut uudenaikaisten seu-

lontamenetelmien soveltuvuuteen liittyvät seikat olivat esillä STUKissa järjestetyssä workshopissa syksyllä 2005. Kokouksen lopullinen mielipide oli, että HTST-menetelmät EMF-tutkimuksen (electromagnetic fields, sähkömagneettiset kentät) apuvälineenä ovat käyttökelpoisia, mutta eivät kuitenkaan vielä valmiita käytettäväksi terveysriskien arviointiin. HTST-menetelmät soveltuvat erityisesti sellaisten biologisten vaikutusten tutkimiseen, joissa ärsykkeen (kuten sähkömagneettinen säteily) biofysikaalinen vuorovaikutusmekanismi elävän kudoksen kanssa on tuntematon, jolloin vaikutukset ovat vaikeasti ennustettavissa.

*Meinander O, Kazadzis S, Blumthaler M, Ylianttila L, Johnsen B, Lakkala K, Koskela T, Josefsson W. Diurnal discrepancies in spectral solar UV radiation measurements. Applied Optics 2006; 45 (21): 5346–5357.*

Tarkimmat auringon UV-säteilyn irradianssin mittaukset tehdään spektrometereillä. Spektrometriettien mittausepävarmuus on parhaimmillaan 5–6 %. Mittauksien varmistamiseksi järjestetään mittausvertailuja, joissa eri maiden tutkijat ja laitteet kerätään samaan paikkaan mittaamaan auringon UV-säteilyä ja vertaamaan mittauksien tuloksia.

Ruotsissa järjestettiin vuonna 2000 pohjoismainen NOGIC 2000 mittausvertailu. Julkaisussa verrataan muutaman vertailuun osallistuneen instrumentin mittauksia kahden päivän osalta. Vertailtavat laitteet on jaoteltu kahteen eri ryhmään, kiinteisiin laitteisiin ja laitteisiin, jotka seuraavat aurinkoa (tarkemmin auringon atsimuuttikulmaa). Laitteiden välillä havaittiin eroja, jotka muuttuivat 2–9 % päivän kuluessa. Ensimmäisenä virhelähteenä epäiltiin mittareiden kulmavasteen, erityisesti atsimuuttivasteen, vaikutusta. Aurinkoa seuraavilla mittareilla on aina sama sivu aurinkoon päin, kun taas kiinteillä mittareilla auringon säteiden tulosuunta muuttuu päivän aikana. Atsimuuttivasteen virheellisydet eivät kuitenkaan selittäneet käytetyillä mittareilla kuin korkeintaan 15 % havaituista eroista. Myös muiden virhelähteiden, kuten mittareiden lämpötilan, teflon-diffuuserien lämpötilan ja spektrometriettien ns. muisti-ilmiön vaikutusta arvioitiin. Havaittuja päiväeroja ei kuitenkaan pystytty selittämään tunnetuilla virhelähteillä.

*Norppa H, Bonassi S, Hansteen I-L, Hagmar L, Strömberg U, Rössner P, Boffetta B, Lindholm C, Gundy S, Lazutka J, Cebulski-Wasilewska A, Fabianová E, Šram R, Knudsen LE, Barale R, Fucic A. Chromosomal aberrations and SCEs as biomarkers of cancer risk. Mutation Research 2006; 600: 37–45.*

Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että kromosomivauriot ovat yhteydessä syöpäriskin ennustettavuuteen. Tätä yhteyttä on edelleen tutkittu EU-yhteistyönä käsittäen yhteensä 22000 eurooppalaisen henkilön tutkimukset. Tulokset varmentavat aikaisemmat havainnot korkeiden kromosomivauriomäärien yhteydestä suurentuneeseen syöpäriskin sekä sen, että kyseinen assosiaatio ei ole riippuvainen ajasta joka on kulunut kromosomivaurioiden tutkimisen ja syövän toteamisen välillä, eli yhteyttä ei voida selittää ei-havaitulla syövällä. Sekä kromatidi- että kromosomityypiset vauriot ennustavat syövän ilmaantumista, vaikkakin tietyt tulokset viittaavat kromosomityypisten voimakkaampaan assosiaatioon. Tulosten perusteella voidaan sanoa että kromosomivauriot ennustavat erilaisia syöpätyyppejä; erityinen yhteys näyttäisi kuitenkin olevan ruuansulatuselimistöön liittyviin syöpiin. Vierassainemetaboliaan, DNA-vaurioiden korjaamiseen ja folaattien aineenvaihduntaan liittyvät geneettiset polymorfiat vaikuttavat kromosomivaurioiden määrään ja saattavat yhdessä vaikuttaa syöpäriskin ennustettavuuteen. Kromosomivaurioiden yhteys syöpäriskin on havaittu ryhmätasolla. Yksilötasollakin assosiaatioita todennäköisesti esiintyy, mutta sen tarkoituksenmukaisuutta ei ole tässä yhteydessä tutkittu. Ryhmätason tulokset tukevat kromosomianalyysin käyttöä seulontatutkimuksissa työ- ja ympäristöterveyden aloilla.

*Nylund R, Leszczynski D. Mobile phone radiation causes changes in gene and protein expression in human endothelial cell lines and the response seems to be genome- and proteome-dependent. Proteomics 2006; 6 (17): 4769–4780.*

Olemme tutkineet solujen reagoitua matkapuhelin säteilylle (900 MHz GSM-signaali) käyttämällä kahta endoteelisolulinjavarianttia: EA.hy926 ja EA.hy926v1. Geeniekspression muutoksia tutkittiin kolmessa kokeessa käyttämällä cDNA siru-analyysia (cDNA expression array). Proteiinien

ekspressiotason vaihtelua tutkittiin kymmenessä kokeessa 2D-elektroforeesin ja PDQuest-analyysiohjelmiston avulla. Saadut tulokset osoittivat että geenien ja proteiinien ilmentyminen muuttui molemmissa solulinjoissa matkapuhelinsäteilyaltistuksen jälkeen (altistusaika 1 tunti, SAR 2.8 W/kg, specific absorption rate). Geenit ja proteiinit reagoivat altistukseen eri tavalla eri solulinjoissa. Tämä viittaa siihen, että solujen vaste matkapuhelinsäteilyaltistukselle on genomi- ja proteomi riippuvainen. Näin ollen on todennäköistä että erityyppiset ja eri lajeista peräisin olevat solut reagoivat matkapuhelinsäteilyyn eri tavalla, tai niiden herkkyys altistukselle on erilainen. Löytömmme voivat myös, ainakin osittain, selittää epäjohtamomukaisuudet eri laboratorioden tutkimustuloksissa.

*Pöllänen R, Ketterer M, Lehto S, Hokkanen M, Ikäheimonen TK, Siiskonen T, Moring M, Martín Sánchez A, Rubio Montero MP. Multi-technique characterization of a nuclear bomb particle from the Palomares accident. Journal of Environmental Radioactivity 2006; 90: 15–28.*

Työssä tutkittiin ydinpommeihiukkasia sisältävää näytettä, josta eristettiin yksi radioaktiivinen hiukkanen tarkempia analyysejä varten. Yksittäiset hiukkaset toimivat sormenjälkinä, joiden avulla voidaan tarkasti selvittää esimerkiksi ydinase- ja ydinmateriaalin ominaisuuksia ilman häiritsevää taustamateriaalia. Tavoitteena oli selvittää eri menetelmien soveltuvuutta radioaktiivisten hiukkasten analysointiin ja niiden edelleen kehittäminen ottaen huomioon kansainvälisen ydinase- ja ydinmateriaalivalvonnan tarpeet. Tässä työssä käytettiin sekä näytettä tuhoamattomia että tuhoavia analyyssimenetelmiä: alfa- beeta- ja gammaspektrometriaa, elektronimikroskopiaa ja massaspektrometriaa. Tutkimus toteutettiin kansainvälisenä yhteistyönä.

Näytteestä eristetyn hiukkasen havaittiin sisältävän ydinaseplutoniumin ( $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  atomisuhde 0,06) lisäksi myös rikastettua uraania ( $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  atomisuhde 0,25); pintaosissa oli lisäksi rautaa ja lyijyä. Sekundaari-ioni -massaspektrometria

(SIMS) ja induktiivisesti kytketty plasmamassaspektrometria (ICP-MS) antoivat kuitenkin uraani-isotooppien suhteen toisistaan poikkeavia tuloksia. Syynä voi olla hiukkasen isotooppikoostumuksen epähomogeenisuus tai analyyssimenetelmiin liittyvä puute. Hiukkanen oli kooltaan noin 10  $\mu\text{m}$  ja ydinase- ja ydinmateriaalin valmistusajankohdaksi arvioitiin 1956–1960. Hiukkasia sisältävä näyte oli peräisin Espanjasta, Palomaresin kylän alueelta, joka kontaminoitui ydinaseita kantavan lentokoneen törmättyä toiseen koneeseen vuonna 1966. Kaksi ydinaseista vaurioitui, paloi ja ydinase- ja ydinmateriaalia levisi ympäristöön.

*Remondini D, Nylund R, Reivinen J, Pouilletier de Gannes F, Veyret B, Lagroye I, Haro E, Angeles Trillo M, Capri M, Franceschi C, Schlatterer K, Gminski R, Fitzner R, Tauber R, Schuderer J, Kuster N, Leszczynski D, Bersani F, Maercker C. Gene expression changes in human cells after exposure to mobile phone microwaves. Proteomics 2006; 6 (17): 4745–4754.*

Matkapuhelimen mahdollisesti aiheuttamia biologisia vaikutuksia tutkittiin in vitro. Tutkimus oli osa EU:n 5. puiteohjelmaan kuuluvaa REFLEX-projektia, jonka tarkoituksena oli arvioida matalan energiatason sähkömagneettisille kentille altistumisesta aiheutuvia mahdollisia ympäristöhaittoja. Riskien arviointi toteutettiin herkkiä in vitro menetelmiä käyttäen. Tutkimuksessa käytettiin kuutta erilaista ihmisolulinjaa, jotka altistettiin taajuudella 900 tai 1800 MHz. Altistetuista ja ei-altistetuista kontrollisolusta eristettiin RNA, joka leimattiin transkriptomianalyysia varten. Kokogenomi cDNA-siruanalyysillä (whole genome cDNA array) saadut tulokset analysoitiin tilastollisesti bioinformatiikan menetelmiä hyväksi käyttäen, ja niiden biologinen merkitys selvitettiin erilaisten tietokantojen avulla. Yhteenvetona voidaan todeta, että mikroaaltosäteilyaltistuksen jälkeen osa ihmissoluista saattaa reagoida nostamalla ribosomaalisia proteiineja koodaavien geenien ekspressiotasoa, ja tällä tavoin lisätä solun metaboliaa.

*Verschaeve L, Heikkinen P, verheyen G, Van Gorp U, Boonen F, Vander Plaetse F, Maes A, Kumlin T, Mäki-Paakkanen J, Puranen L, Juutilainen J. Investigation of co-genotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields in vivo. Radiation Research 2006; 165: 598–607.*

Tutkimuksessa selvitettiin radiotaajuisen (RF) säteilyn ja klooratussa juomavedessä esiintyvän, rotille syöpää aiheuttavan yhdisteen, 3-kloro-4-(diklorometyyli)-5-hydroksi-2(5H)-furanonin (MX:n) solun perimää vaurioittavia (genotoksisia) yhteisvaikutuksia. Tutkimus kuului EU:n rahoittamaan CEMFEC-hankkeeseen, jossa Kuopion yliopisto (KY) toimi koordinaattorina ja Säteilyturvakeskus (STUK) oli KY:tä avustavana osapuolena. STUK kehitti laitteiston, joka soveltui rottien altistamiseen GSM 900 -puhelimien RF-säteilylle. STUK huolehti myös RF-altistustasojen määrittämisestä ja varmentamisesta (RF-dosimetria) tutkimuksen aikana. KY ja Kansanterveyslaitos (KTL) huolehtivat rottien altistamisesta ja tutkimuksen aikaisesta seurannasta. Eläimistä otettiin verinäytteitä 3 kk, 6 kk ja 24 kk kuluttua RF-altistusten aloittamisesta sekä aivo- ja maksakudosnäytteet RF-altistusten päättyessä. Näytteet toimitettiin belgialaiseen Flemish Institute of Technological Research (VITO) -tutkimuslaitokseen, jossa kaikista näytteistä tutkittiin DNA-vauriot comet-menetelmällä. Veren punasoluista katsottiin lisäksi mahdolliset ylimääräiset tumat (ns. mikrotumat).

Käytetyillä tutkimusmenetelmillä maksa- ja verisoluissa ei havaittu MX-altistukseen liittyviä vaurioita, mutta DNA-vauriot olivat lisääntyneet MX:lle altistettujen rottien aivoissa. RF-altistus ei lisännyt genotoksisten vaurioiden määrää MX:lle altistettujen eläinten maksa-, veri- tai aivosoluissa. Kokeen tulokset eivät viitanneet siihen, että pitkäaikainen matalatasoinen RF-altistus lisäisi MX:n genotoksisia vaikutuksia.

*Vrijheid M, Cardis E, Armstrong BK, Auvinen A, Berg G, Blaasaas KG, Brown J, Carroll M, Chetrit A, Christensen HC, Deltour I, Feychting M, Giles GG, Hepworth SJ, Hours M, Iavarone I, Johansen C, Klæboe L, Kurtio P, Lagorio S, Lönn S, McKinney PA, Montestrucq L, Parslow RC, Richardson L, Sadetzki S, Salminen T, Schüz J, Tynes T, Woodward A. Validation of short term recall of mobile phone use for the Interphone study. Occupational and Environmental Medicine 2006; 63: 237–243.*

Tutkimuksessa selvitettiin itse raportoitujen matkapuhelimen käyttötietojen luotettavuutta vertaamalla vapaaehtoisten haastattelussa antamia tietoja operaattorien keräämiin. Aineistona oli 672 vapaaehtoisen tiedot 11 Interphone-tutkimukseen osallistuvasta maasta. Heidän arvioimiensa puheluiden kesto ja määrä kuuden kuukauden aikana korreloi kohtalaisesti verkko-operaattorien tietojen kanssa (korrelaatiokertoimet 0,5–0,8, kappa 0,2–0,6). Puheluiden kestoa kuitenkin yliarvioitiin selvästi, keskimäärin noin 40 %. Raportoinnin tarkkuudessa oli kuitenkin huomattavia eroja maiden välillä. Epätarkkuudet altistustiedoissa saattavat vääristää Interphone-tutkimuksen annosvastetta matkapuhelimen käytön määrän ja aivokasvainten välillä ellei satunnaisvirhettä oteta huomioon analyyseissä.

## 8.2 Ilmestyneet artikkelit ja raportit

Vuoden 2006 aikana ilmestyneet STUKin tutkimustoimintaan liittyvät julkaisut ja raportit löytyvät STUKin verkkosivuilta osoitteesta [www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/fi\\_FI](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI) (Kansainväliset julkaisut, Proceedings-julkaisut ja Tutkimusjulkaisut).

## 9 Lähialueen ydinvoimalaitokset

*Heikki Reponen*

Suomen ja Venäjän välisen tietojenvaihtosopimuksen perusteella STUK saa viipymättä tiedon kaikista turvallisuuteen vaikuttavista merkittävistä tapahtumista Suomen lähialueella sijaitsevilta Leningradin ja Kuolan ydinvoimalaitoksilta. Tämän lisäksi Venäjän turvallisuusviranomaisen Rostekhnadzorin paikallistarkastajat näiltä laitoksilta vierailevat puolivuositain STUKissa raportoimassa käyttötapahtumista. Vierailut toteutetaan ulkoasiainministeriön rahoittaman lähialueyhteistyön puitteissa ja niissä käsitellään laajasti Leningradin ja Kuolan laitosten käyttöä ja turvallisuusvalvontaa koskevia asioita. Käytäntö pitää suomalaiset asiantuntijat selvillä lähiydinvoimalaitosten turvallisuuden kehittymisestä ja antaa taustatietoa turvallisuusyhteistyön suuntaamiseen.

Oheessa esitettävät tiedot laitostapahtumista vuoden 2006 kolmannelta neljännekseltä on koottu eri lähteistä. Mikään tapahtuma ei vaarantanut laitosyksiköiden turvallisuutta eikä yltänyt kansainvälisen INES-asteikon piiriin.

Muilta osin ulkoasiainministeriön rahoituksella tehtävää lähialueyhteistyötä Venäjän ydinturvallisuuden parantamiseksi esitellään STUKin verkkosivuilla ([www.stuk.fi/ydinturvallisuus/lahialueyhteisty/](http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/lahialueyhteisty/)).

### **Leningradin ydinvoimalaitos**

Leningradin ydinvoimalaitoksen kakkosyksiköllä jatkui koko raportointijakson ajan laaja, käyttöään jatkamiseen tähtäävä modernisointiseisokki. Laitosyksiköllä tehtiin valmisteluja lokakuun alussa tapahtuvaa käynnistämistä varten.

Kolmosyksiköllä 24.6.2006 alkanut vuosi-huoltoseisokki päättyi heinäkuun puolivälissä. Nelosyksikkö pysäytettiin 16.9.2006 laajaan huoltoseisokkiin, jossa mm. osa polttoainekanavista vaihdetaan uusiin.

Ykkösyksiköllä tapahtui 15.8.2006 pikasulku, jonka aiheutti virtamittausmuuntajan vaurioitu-

minen kytkinkentällä. Korjausten jälkeen toinen laitosyksikön turbiineista käynnistettiin 18.7.2006 ja toinen 29.8.2006. Virtamittausmuuntajien huono laatu on aiheuttanut ongelmia Venäjällä sekä konventionaalisissa että ydinvoimalaitoksissa.

Leningradin ydinvoimalaitoksen alueella järjestettiin 10.8.2006 sisäministeriön joukkojen harjoitus, jossa valmistauduttiin maalta tai mereltä uhkaavien laittomien tunkeutujien torjuntaan.

Leningradin voimalaitoksen yksiköiden 1 ja 2 täysmittakaavaisella koulutussimulaattorilla tehtiin modernisointia ja se oli poissa koulutuskäytöstä koko vuosineljänneksen.

### **Kuolan ydinvoimalaitos**

Kuolan voimalaitoksen ykkösyksikön 16.6.2006 alkanut vuosihuolto päättyi 25.7.2006. Kakkosyksiköllä toteutettiin suunnitelmien mukainen keskipitkä huoltoseisokki 2.8.–9.9.2006.

Vuosihuoltojen päätyttyäkin sähköntarvetta oli vain kolmen reaktorin tuottamalle teholle eli 1100 megawattia. Käytännössä tämä toteutettiin pitämällä ensin yhtä laitosyksikköä reservissä ja myöhemmässä vaiheessa käyttämällä kahta laitosyksikköä vain yhden turbiinin teholla.

27.8.2006 kolmosyksiköllä tapahtui reaktorin pikasulku, joka johtui suojausjärjestelmän virheetoiminnasta. Virhetoiminnan aiheutti rakennevika höyrynpaineen valvontalaitteiden sähkösyötön invertterissä. Laitosyksikkö kytkettiin takaisin sähköverkkoon 30.8.2006.

Uuden nestemäisten radioaktiivisten jätteiden käsittelylaitoksen koekäyttö jatkui. Tavoitteena on saada laitos tuotantokäyttöön vuoden loppuun mennessä. Jätteiden käsittelylaitoksen on määrä valmistua kokonaisuudessaan vuonna 2008.

Uuden sähkölinjan rakentaminen Kuolan voimalaitokselta Kantalahden eteläpuolelle Knjazhegubskajaan jatkui. Valmistumisen tavoiteajankohta on siirretty vuoden 2007 puolelle.

## 10 Merkittäviä tapahtumia muilla ydinvoimalaitoksilla

*Tapani Virolainen*

### Häiriö Forsmark 1:n sähköjärjestelmissä

Ruotsissa tapahtui 25.7.2006 Forsmark 1 -ydinvoimalaitosyksiköllä ulkoisen 400 kV:n verkkoyhteyden kytkentämuutoksia tehtäessä häiriö, joka johti useiden peräkkäisten vikojen seurauksena osittaiseen sähkönmenetykseen yksikön sisäisissä, turvallisuuden kannalta tärkeissä sähköjärjestelmissä. Laitosyksikön turvallisuusjärjestelmät toimivat suunnitellusti ja sammuttivat reaktorin. Tapahtumasta ei aiheutunut radioaktiivisia päästöjä. Tapahtuma on luokiteltu kansainvälisellä ydinvoimalaitostapahtumien INES-vakavuusasteikolla luokkaan 2.

Ruotsin ydinturvallisuutta valvova viranomainen SKI (Statens Kärnkraftinspektion) edellytti voimayhtiöltä yksityiskohtaisia selvityksiä mm. tapahtuman kulusta sekä tarvittavista välittömistä ja pitkän tähtäimen parannustoimenpiteistä, joilla vastaavan tapahtuman toistuminen estetään. SKI tarkasti selvitykset ja arvioi niiden perusteella edellytykset laitosyksikön uudelleenkäynnistykselle. SKI hyväksyi esitetty muutostoimenpiteet ja myönsi Forsmark 1:lle käynnistyslupan 28.9.2006. Lupa edellyttää laitosyksikön johdolta lisäpanostusta yksikön turvallisuuskulttuurin parantamiseksi.

Forsmark 1 oli tehoajolla, kun 400 kV:n kytkinkentällä avautui huoltotoimenpiteiden jälkeisiä kytkentöjä tehtäessä virrallinen erotin ja siitä seurasi kaksivaiheinen valokaarioikosulku. Oikosulun vuoksi 400 kV:n verkkojännite laski ja aiheutti laitosyksikön irtoamisen voimansiirtoverkosta ja siirtymisen ns. omakäyttöajolle. Alijännitteen vuoksi päägeneraattoreiden jännitteensäätöjärjestelmät nostivat jännitettä ja aiheuttivat kahden sisäisen, katkotonta vaihtosähkönsyöttöä varmistavan UPS-laitteiston (Uninterruptible Power System) laukeamisen. Kun häiriö jatkui, yksikön molemmat turbogeneraattorit pysähtyivät pikasulusta

ja yksikön dieselvarmennetut 500 V:n sähkökeskukset jäivät relesuojausvikojen takia jännitteetömiksi ja aiheuttivat suunnitellusti kaikkien neljän hätädiezelgeneraattorin käynnistymisen. Dieselgeneraattoreista kaksi alkoi suunnitellusti syöttää sähkötehoa dieselvarmennettuihin kohteisiin. Kaksi dieseliä pysähtyi käynnistymisen jälkeen, koska niiden kierroslukuvalvonnan apujännitesyötöt oli menetetty UPS-laitteistojen laukeamisen takia.

Kahden turvallisuuden kannalta tärkeän hätädiezelgeneraattorin ja UPS-laitteiston pysähtyminen samanaikaisesti aiheutti päävalvomossa esitettävän informaation osittaisen menetyksen. Operaattorit palauttivat sähkönsyötön ulkoisesta 70 kV:n voimansiirtoverkosta kaikkiin osajärjestelmiin noin 22 minuutin kuluttua tapahtuman alusta, ja sen jälkeen laitosyksikön valvonta ja jäähdytys jatkuivat normaalisti.

Forsmark 1:llä on sisäiset akustot, UPS-laitteistot ja hätädiezelgeneraattorit ulkoisista voimansiirtoverkoista ja päägeneraattoreilta tapahtuvan sähkötehon syötön menetyksien varalta. Laitosyksiköllä on neljä varavoimadieseliä, yksi kussakin rinnakkaisessa sähköosajärjestelmässä.

Tapahtuma on johtanut Ruotsissa lukuisiin välittömiin ja pitkántähtäimen selvitys- ja parannustoimenpiteisiin mm. relesuojauksissa, apujännitesyöttöjen varmennuksissa, toimintaohjeistuksessa sekä kunnossapito- ja valvomotoiminnassa.

Luvanhaltija (Forsmark Kraftgrupp AB) ilmoitti tapahtumasta SKI:lle, joka ryhtyi välittömästi selvitystoimiin ja informoi mm. STUKia. Forsmark 1:n sisarlaitoksilla Olkiluoto 1:llä ja 2:lla arvioitiin vastaavan tilanteen mahdollisuus. Vaikka laitoksen konsepti Forsmarkissa ja Olkiluodossa on ollut alkujaan sama, on laitosyksiköiden sähköjärjestelmissä ollut alun perin ja myöhemmin tehtyjen muutostöiden seurauksena eroja, jotka olisivat

joko estäneet vastaavan tapahtuman synnyn tai lieventäneet sen seurausvaikutuksia. Esimerkiksi hätädieselin käynnistyminen ei olisi estynyt Olkiluodossa UPS-laitteiden vian seurauksena. Välittömiä korjaavia toimenpiteitä ei siten katsottu tarpeelliseksi Olkiluodossa. Teollisuuden Voima Oy ja STUK seuraavat Forsmark 1:n tapahtuman jatkoselvittelyä. Samalla arvioidaan Forsmarkissa tehtävien korjaavien toimenpiteiden tarpeellisuutta Olkiluodossa.

Fortum Power & Heat Oy on arvioinut vastaavan tapahtuman mahdollisuutta Loviisan laitostyksiköiden osalta. Loviisan laitostyksiköiden sähköjärjestelmät poikkeavat Forsmark 1:n järjestelmistä siinä määrin, ettei välittömiin korjaaviin toimenpiteisiin ollut aihetta. Olkiluoto 3:n laitos-hankkeessa tapahtuma otetaan huomioon sähköjärjestelmien yksityiskohtaisessa suunnittelussa tehtävillä suunnittelumuutoksilla.



## LIITE 1

## YLEISTIEDOT SUOMEN YDINVOIMALAITOKSISTA



Kuva: Fortum Power and Heat Oy

Laitos-yksikkö	Käynnistys	Kaupallinen käyttö	Nimellissähköteho, (brutto/netto, MW)	Tyyppi, toimittaja
Loviisa 1	8.2.1977	9.5.1977	510/488	Painevesireaktori (PWR), Atomenergoexport
Loviisa 2	4.11.1980	5.1.1981	510/488	Painevesireaktori (PWR), Atomenergoexport



Kuva: Teollisuuden Voima Oy

Laitos-yksikkö	Käynnistys	Kaupallinen käyttö	Nimellissähköteho, (brutto/netto, MW)	Tyyppi, toimittaja
Olkiluoto 1	2.9.1978	10.10.1979	870/840 1.7.2006 alkaen 890/860	Kiehutusvesireaktori (BWR), Asea Atom
Olkiluoto 2	18.2.1980	1.7.1982	890/860	Kiehutusvesireaktori (BWR), Asea Atom
Olkiluoto 3	Rakentamislupa myönnetty 17.2.2005		n. 1600 (netto)	Painevesireaktori (PWR), Framatome ANP – Siemens AG

Fortum Power and Heat Oy omistaa Loviisassa sijaitsevat Loviisa 1 ja 2 -laitosyksiköt ja Teollisuuden Voima Oy Eurajoen Olkiluodossa sijaitsevat Olkiluoto 1 ja 2 -laitosyksiköt sekä rakenteilla olevan Olkiluoto 3 -laitosyksikön.

## LIITE 2

## VALTAKUNNALLINEN YMPÄRISTÖN SÄTEILYVALVONTA STUKISSA

Valtakunnallinen ympäristön säteilyvalvonta sisältää seuraavassa taulukossa esitettävät toiminnot. Valvontatulokset raportoidaan vuosittain seuraavan vuoden alkupuoliskolla suomeksi, ruotsiksi ja englanniksi yhdessä muiden säteilyvalvontaa

toteuttavien laitosten tulosten kanssa. Tulokset viedään niiden valmistuttua STUKin [www-sivuille](http://www.sivuile), jossa esitetään myös lisätuloksia mm. elintarvikkeiden aktiivisuuksista.

Valvontakohde	Valvontapaikat	Mitataan	Frekvenssit
Ulkoisen säteily	n. 290 automaattiasemaa	Annosnopeus, $\mu\text{Sv/h}$	Jatkuva
Ilman radioaktiivisuus	Helsinki, Kotka, Imatra, Kuopio, Rovaniemi, Kajaani, Sodankylä, Ivalo (8 paikkaa)	Gammasäteilijät	1–7 näytettä viikossa
Ulkoilman kokonaisbeeta-aktiivisuus	Ilmatieteen laitos toteuttaa		
Laskeuman radioaktiivisuus	Helsinki, Kotka, Imatra, Kuopio, Rovaniemi, Kajaani, Sodankylä, Ivalo (8 paikkaa)	Gammasäteilijät, Sr-90	1 näyte kuukaudessa
Pintaveden aktiivisuus	Kymijoki, Oulujoki, Kemijoki	Gammasäteilijät	4 näytettä vuodessa
Juomaveden aktiivisuus	Helsinki, Turku, Tampere, Oulu, Rovaniemi	H-3, Sr-90, gammasäteilijät	2 näytettä vuodessa
Maidon aktiivisuus	Riihimäki, Joensuu, Jyväskylä, Seinäjoki, Rovaniemi (meijerit)	Gammasäteilijät, Sr-90	1 näyte viikossa
Elintarvikkeiden aktiivisuus	Helsinki, Tampere, Rovaniemi (keskussairaalat+erityiselintarvikkeet <sup>1)</sup> )	Gammasäteilijät, Sr-90	2 näytettä vuodessa + erityiselintarvikkeet
Ihmisen aktiivisuus	Helsinki, Tampere, Rovaniemi	Gammasäteilijät	Kerran vuodessa
Itämeren radioaktiivisuus <sup>2)</sup>	Useita valvontapaikkoja ja mitattavia kohteita		

1) Vuonna 2002 tehdyn sidosryhmäkyselyn tuloksena lisätään valvontaohjelmaan näillä kolmella paikkakunnalla tehtävät kaupan olevien erityiselintarvikkeiden radioaktiivisuusmittaukset.

2) Yhteenveto Itämeren suojelusopimuksen edellyttämän valvonnan tuloksista (HELCOM/MORS).

## Ydinlaitostapahtumien kansainvälinen vakavuusasteikko (INES)

[www-news.iaea.org/news](http://www-news.iaea.org/news)

